

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1927

THÈSE

N°

160

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Henri DESGREZ

Né à Paris le 23 juillet 1899

De l'utilisation des lampes valves

pour la

Mesure de la chronaxie chez l'homme

Président : M. A. STROHL, professeur.

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUBE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, RUE RACINE, 15

1927

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1927

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Henri DESGREZ

Né à Paris le 23 juillet 1899

De l'utilisation des lampes valves

pour la

Mesure de la chronaxie chez l'homme

Président : M. A. STROHL, professeur.

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, RUE RACINE, 15

1927



I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	NICOLAS.
Anatomie médico-chirurgicale.	CUNÉO.
Physiologie	ROGER.
Physique médicale	STROHL
Chimie organique et chimie générale	DESGREZ.
Bactériologie.	LEMIERRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales.	Marcel LABBÉ.
Pathologie médicale	SICARD.
Pathologie chirurgicale	LECÈNE.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	PRENANT.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	CARNOT.
Hygiène	Léon BERNARD.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	MÉNÉTRIÉR.
Pathologie expérimentale et comparée	RATHERY.
Clinique médicale	GILBERT.
	BEZANÇON.
	ACHARD.
	WIDAL.
Hygiène et clinique de la première enfance	MARFAN.
Clinique des maladies des enfants.	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	JEANSELME.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	TEISSIER.
Clinique chirurgicale	DELBET.
	HARTMANN.
	LEJARS.
Clinique ophtalmologique	GOSSET.
	TERRIEN.
Clinique urologique.	LEGUEU.
Clinique d'accouchements	COUVELAIRE.
	BRINDEAU.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBRÉDANNE
Clinique thérapeutique médicale	VAQUEZ.
Clinique oto-rhino-laryngologique.	SEBILEAU
Clinique thérapeutique chirurgicale	DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Sans chaire	ROUVIÈRE.
	BRANCA.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ABRAMI . . . Pathologie médicale.
 AUBERTIN . . Pathologie médicale.
 BASSET . . . Pathologie chirurgicale.
 BAUDOUIN . . Pathologie médicale.
 BINET Physiologie.
 BLANCHETIÈRE Chimie biologique.
 BRULÉ Pathologie médicale.
 CADENAT . . . Pathologie chirurgicale.
 CHAMPY Histologie.
 CHIRAY Pathologie médicale.
 CLERC Pathologie médicale.
 DEBRÉ Hygiène.
 I. de JONG . . Anatomie pathologique.
 DUVOIR Médecine légale.
 ÉCALLE Obstétrique.
 FIESSINGER . Pathologie médicale.
 GARNIER . . . Pathologie expérimentale
 HARVIER . . . Pathologie médicale.

MM.

LÉVY-SOLAL. Obstétrique.
 HOVELACQUE . Anatomie.
 JOYEUX Parasitologie.
 LABBÉ (Henri) Chimie biologique.
 LARDENNOIS Pathologie chirurgicale.
 LEMAITRE . . Oto-rhino-laryngologie.
 HEITZ-BOYER Urologie.
 LHERMITTE . Pathologie mentale.
 LIAN Pathologie médicale.
 MATHIEU . . . Pathologie chirurgicale.
 METZGER . . . Obstétrique.
 MONDOR . . . Pathologie chirurgicale.
 MOURE Pathologie chirurgicale.
 MULON Histologie.
 PHILIBERT . . Bactériologie.
 RICHTER Fils . Physiologie.
 VAUDESCAL. Obstétrique
 VERNE Histologie.
 VELTER Ophtalmologie.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

POUR LE SERVICE DES EXAMENS

MM.

GOUGEROT . Pathologie médicale.
 GUÉNIOT . . . Obstétrique.

MM.

RETTERER . . Histologie.
 TANON Pathologie médicale.

AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE

A TITRE PERMANENT

MM.

AUVRAY. . . Clinique chirurgicale.
CHEVASSU. . . Clinique chirurgicale.
LAIGNEL-LAVASTINE. . Clinique médicale.
LEREBoullet. Clinique médicale in-
fantile.

MM.

LÉRI. Clinique médicale.
LÉPER. Clinique médicale.
PROUST. . . . Clinique chirurgicale.
SCHWARTZ. . Clinique chirurgicale

V. — CHARGÉS DE COURS

MM. MAUCLAIRE, agrégé.	{	Chargé du cours de chirurgie orthopédique chez l'adulte pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes adultes.
FREY.		Stomatologie.
CHAILLEY-BERT.		Éducation physique.
LEDoux-LEBARD.		Radiologie clinique.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A M. LE PROFESSEUR ANDRÉ STROHL

*Hommage de très affectueuse
reconnaissance.*

A MONSIEUR LE DOCTEUR LOUIS DELHERM

Ancien Interne des Hôpitaux de Paris

Electro-radiologiste de la Pitié

En témoignage de profonde gratitude.

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX

Stage :

M. le Professeur HARTMANN.

M. le Professeur agrégé LEGRY.

Externat :

M. le Professeur LEGUEU

M. le Professeur BEZANÇON.

M. le Professeur RATHERY.

M. le Professeur VAQUEZ.

M. le Professeur agrégé LE LORIER.

M. le Docteur FAURE-BEAULIEU.

M. le Docteur TIXIER.

M. le Docteur DELHERM.

A MONSIEUR LE DOCTEUR PH. FABRE.

Reconnaissante amitié.

AVANT-PROPOS

De plus en plus, on tend à remplacer, en clinique, les méthodes qualitatives d'appréciation d'un phénomène pathologique par des méthodes quantitatives ; sur les premières, celles-ci présentent l'avantage, si elles sont assez sensibles, de mettre en valeur des troubles légers, ou bien, s'il s'agit de troubles plus importants, d'en suivre de plus près l'évolution. La lenteur de celle-ci, dans le domaine de la pathologie neuro-musculaire, rend souvent difficile l'appréciation d'une amélioration ou d'une aggravation des lésions. Pour ces motifs, à côté de l'électro-diagnostic classique, méthode qualitative, une méthode quantitative, la recherche de la chronaxie, c'est-à-dire la mesure des caractéristiques d'excitabilité d'un muscle au courant électrique, tend à se généraliser de plus en plus.

Il s'agit là d'une méthode relativement récente, et bien qu'elle rende déjà de grands services, elle nous a semblé encore perfectible. Des obstacles d'ordre pratique autant que théorique rendent le problème complexe. Si l'on est arrivé à obtenir des ondes électriques de durée extrêmement brève, soit à l'aide de rhéotomes, soit à l'aide de condensa-

teurs, on n'a pas pu, jusqu'à présent, utiliser, d'une façon pratique, comme agent excitateur, un courant dont l'intensité soit exactement connue.

Dans les méthodes couramment utilisées, on admet la validité de la loi d'Ohm pour le corps humain, l'intensité devant se trouver doublée lorsqu'on double le voltage aux bornes du circuit d'excitation.

On sait, en effet, que le rapport mesurant la chronaxie d'un nerf ou d'un muscle est égal au nombre exprimant le temps minimum d'admission d'un courant provoquant une contraction musculaire, l'intensité de ce courant étant prise égale au double de l'intensité rhéobasique, c'est-à-dire au double de l'intensité nécessaire et suffisante pour obtenir une réponse, lors d'une admission de durée pratiquement infinie (fermeture à la main). Or, un travail récent de M. le P^r Strohl a montré que les forces contre-électromotrices qui prennent naissance dans les tissus traversés par un courant électrique, faussent les résultats, en ce sens qu'elles ont pour effet de détruire la proportionnalité entre le voltage utilisé et l'intensité obtenue.

A l'aide d'une méthode qui resta un procédé de laboratoire, M. Strohl a montré expérimentalement l'erreur assez considérable introduite dans la mesure de la chronaxie par les dispositifs utilisés en clinique. Avec M. Fabre (1), nous avons mis au point

1. Ph. Fabre et H. Desgrez, *Journ. de Rad. et d'Electr.*, t. X, n° 10, oct. 1926, p. 459.

et expérimenté, dans le laboratoire du P^r Strohl, une méthode non moins rigoureuse, mais susceptible de remplacer avantageusement ces derniers, en raison de la simplicité de l'appareillage et de la technique de la mesure.

Dans le présent travail, nous ferons précéder l'exposé de cette méthode et des mesures qu'elle nous a permis de pratiquer, de quelques chapitres relatifs à l'histoire de la question, aux difficultés rencontrées dans la réalisation des mesures, aux solutions apportées jusqu'à présent, enfin à la critique des solutions préconisées.

De l'utilisation des lampes valves

pour la

Mesure de la chronaxie chez l'homme

HISTORIQUE

Les premières applications des courants électriques dans l'exploration du système neuro-musculaire furent, en quelque sorte, empiriques ; peu à peu cependant se dégagèrent des méthodes plus générales qui conservent encore un certain intérêt en raison de la rapidité avec laquelle elles peuvent être réalisées. Après les recherches fondamentales d'Erb, de Chauveau et de Boudet, des expérimentateurs ont mis en lumière certaines modifications d'excitabilité des muscles pathologiques : Rich et Geigel montrent la valeur de l'inversion dans l'ordre d'apparition des secousses musculaires, Guilloz, comparant le muscle normal et le muscle depuis longtemps inactif, Remeuk, étudiant le « temps perdu » dans l'excitation des muscles et des nerfs, précisent les caractères de réaction des muscles pathologiques. Bénédic, Joly, étudient plus spécialement l'excitation du muscle au courant faradique et décrivent la réaction d'épuisement ; enfin Enchloerst et Castex,

en précisant la situation des points moteurs, facilitent la recherche pratique de l'excitabilité neuromusculaire. Mais déjà quelques auteurs attirent l'attention sur certaines difficultés rencontrées au cours de l'examen électrique. Bergonié montre qu'une différence de résistance des tissus peut être cause d'une différence de réaction au cours de l'exploration par le courant faradique, et Guilleminot ajoute que cette recherche doit être pratiquée avec une source dont les propriétés restent identiques du début à la fin de la mesure. Et, peu à peu, se dégagent des notions nouvelles : malgré la sensibilité toujours plus grande des appareils de mesure d'intensité ou de voltage, on tend à attacher plus d'importance aux modifications qualitatives des réponses musculaires (lenteur de la secousse, abaissement du point moteur) qu'aux indications fournies par les appareils de mesure.

Cette question de l'excitabilité des muscles et des nerfs a été envisagée sous un tout autre aspect par certains expérimentateurs : ceux-ci se sont efforcé de trouver une loi d'excitabilité neuromusculaire donnant une mesure de cette excitabilité en fonction des caractéristiques physiques de l'onde électrique excitatrice. En 1845, alors qu'on attachait une haute valeur à la notion du seuil d'excitation, du Bois-Reymond, le premier, montra que l'excitabilité neuromusculaire n'était pas suffisamment caractérisée par la hauteur du seuil ; à l'aide d'un dispositif permettant de brèves admissions de courant, $1/200^e$

de seconde au minimum, il put établir la première formule simple reliant les constantes du courant excitateur et la réponse musculaire : « l'excitation est fonction de la vitesse avec laquelle varie la densité du courant traversant les tissus ». Du Bois-Reymond opérant sur des muscles à contractions brèves, le temps de passage de l'onde excitatrice se trouvait trop considérable par rapport au muscle considéré, et cette loi, qui avait été envisagée comme une loi générale, se trouva en défaut lorsque les expérimentateurs tentèrent de la vérifier sur des muscles à contraction lente. En 1895, Fick, en excitant le muscle de la valve de la moule, muscle à contraction lente, à l'aide d'un dispositif analogue à celui de Du Bois-Reymond, constate que la précédente loi est inexacte lorsque la durée d'admission est inférieure au $1/10^e$ de seconde. Il montre qu'à chaque intensité correspond une durée de passage minima au-dessous de laquelle la réponse musculaire n'apparaît plus. Pour cette intensité, la contraction pouvant être obtenue en prolongeant le passage du courant, la loi de Du Bois-Reymond se trouve infirmée, puisque, pendant le temps de passage additionnel, le rapport de l'accroissement de la densité de courant au prolongement du temps de passage n'augmente pas. Engelmann, l'année suivante, vérifie les constatations de Fick, sur un autre muscle à contraction lente : la tunique musculaire de l'uretère de lapin. En modifiant l'état de divers muscles par des procédés physiques ou chimiques,

ce même auteur montre que la durée de passage nécessaire pour obtenir une réponse varie avec chaque muscle, et, pour chacun, avec son degré d'altération. D'autres auteurs apportent des faits analogues : Schott, opérant avec des ondes prolongées sur des muscles de crapaud, avec des ondes brèves sur des muscles de grenouille, conclut à l'action élective de certaines formes de courant vis-à-vis de certains muscles, et Barker montre que cette action varie suivant qu'il s'agit d'un muscle sain ou d'un muscle curarisé ; enfin Gotch et Mc Donald montrent que le muscle chauffé légèrement présente une élévation du seuil pour une excitation longue, un abaissement pour une excitation brève.

Certains auteurs cherchèrent à substituer une nouvelle formule à la loi de Du Bois-Raymond reconnue inexacte : C'est ainsi que des expériences de Von Kries, de Keith-Lucas, sur l'action des courants progressifs, se dégagent la notion d'un nouveau facteur : la pente limite de la droite, dont le coefficient angulaire exprime l'intensité, compatible avec l'obtention d'une contraction musculaire.

Mais c'est à M. G. Weiss qu'il était réservé de formuler la loi générale établissant un rapport entre la réponse musculaire et la forme de l'onde excitatrice. Avant lui, si quelques auteurs parvinrent à établir une formule exacte, celle-ci n'était applicable qu'en des conditions restreintes d'expérimentation, et rigoureusement identiques au cours des mesures effectuées : Waller, utilisant comme source

des condensateurs chargés, détermine une caractéristique de l'excitabilité musculaire d'après l'énergie dépensée dans la décharge. Ayant trouvé la « décharge optima » pour le muscle considéré, il mesure l'énergie dépensée d'après la formule

$\frac{V}{CR} \times A$, où V exprime le voltage, C la capacité,

R la résistance du circuit et A une constante égale à 0, 8687. Keith-Lucas, poursuivant les recherches de Waller, préconise comme mesure de l'excitabilité du muscle, une « durée optima » de décharge.

Enfin Hoorweg, à l'aide de condensateurs choisis de capacités différentes, observe que, pour des capacités suffisamment grandes, le voltage liminaire reste constant, et que, pour de faibles capacités, le voltage liminaire augmente quand la capacité diminue. Ces relations répondent à la formule suivante :

$$V = AR + \frac{B}{C}$$

Dans laquelle V exprime le potentiel de charge, R la résistance du circuit, C la capacité du condensateur, et A et B des constantes dépendant des conditions de l'expérience. Ce n'est qu'après les travaux de M. Weiss que M. Cluzet, reprenant les expériences de Hoorweg, en dégagait la notion de temps utile de la décharge, et vérifia, à l'aide des condensateurs, les constatations plus générales de M. Weiss.

Dubois de Berne qui était arrivé, en 1891, à

H. Desgrez

mettre en valeur le rôle de la quantité d'électricité mise en jeu au cours de l'excitation par les condensateurs, n'avait pu en dégager une loi uniformément applicable.

En se plaçant dans des conditions expérimentales plus simples, M. G. Weiss montra toute l'importance du facteur temps, dont le rôle n'avait pu être que pressenti par ses précurseurs. Le dispositif ingénieux réalisé par cet auteur, lui permit d'obtenir des admissions de courant d'intensité connue pendant un temps extrêmement court, de l'ordre du $1/200.000^{\text{e}}$ de seconde.

Au début de l'expérience, la source employée (batteries d'accumulateurs) débite à travers une premier circuit peu résistant. Le sujet est placé sur une dérivation de ce premier circuit, dérivation comportant une résistance additionnelle en série avec le sujet. Dans ces conditions, la totalité du courant traverse la branche la moins résistante, c'est-à-dire celle ne comportant pas le sujet. La rupture de cette branche a pour effet de faire passer la totalité du courant par le sujet ; il suffit de couper cette dernière dérivation pour faire cesser l'excitation. Cette double rupture était réalisée pratiquement par une balle de carabine rencontrant d'abord la branche non résistante de la dérivation, puis la branche comportant le sujet. Pour faire varier la durée de l'onde excitatrice, il suffisait de rapprocher ou d'éloigner les deux branches de la dérivation successivement coupées. Le temps de passage,

pouvait être calculé rigoureusement, en fonction de cette distance et de la vitesse du projectile ; pour que ce dernier facteur soit bien défini, M. G. Weiss utilisa une carabine à gaz carbonique, imprimant à la balle une vitesse déterminée, alors qu'il aurait été très difficile d'obtenir une approximation suffisante en utilisant la déflagration d'une cartouche. Après la rupture du premier fil, le courant prend rapidement sa valeur définitive dans la branche comportant le sujet, puisque ce circuit ne comporte qu'une self-induction négligeable. Dans une première série d'expériences, M. G. Weiss vérifia l'absence d'influence des phases d'établissement et de rupture du courant au point de vue de l'excitation. Pour cela, il modifia le montage de façon à obtenir deux excitations successives de durées connues, et découvrit ainsi la première loi fondamentale : *Quand les excitations électriques ont même durée, il faut, pour parvenir au seuil de l'excitation, mettre en jeu la même quantité d'électricité.* D'une deuxième série d'expériences, faisant varier la durée d'une excitation unique, avec diverses intensités, il déduisit la deuxième loi : *La quantité d'électricité nécessaire pour obtenir le seuil d'excitation varie en fonction du temps d'admission, et ces deux grandeurs sont liées par l'équation suivante :*

$$Q = a + b t.$$

dans laquelle Q exprime la quantité d'électricité nécessaire, t le temps, a et b des facteurs variables

avec le muscle étudié. « Tout se passe comme s'il fallait, pour exciter un nerf, une quantité constante d'électricité, mais qu'il faille en plus, pendant toute l'opération, combattre sans cesse un processus de retour à l'état premier à l'aide d'une autre quantité d'électricité proportionnelle à la durée de l'action ». Ce commentaire de la loi d'excitation, emprunté à l'auteur lui-même est tellement explicite que nous avons cru bon de le rapporter ici. Ces deux quantités sont caractérisées l'une par le facteur a qui exprime la quantité constante, l'autre par le facteur b , qui exprime l'intensité nécessaire pour obtenir la quantité proportionnelle à la durée de l'action t . Le rapport de ces deux valeurs : $\frac{a}{b}$, ou rapport de Weis, donne le nombre caractéristique de l'excitabilité du muscle ou du nerf considéré. Ce nombre s'exprimera en unité de temps, puisqu'il est le quotient de la quantité a par l'intensité b .

Les expériences de M. Weis furent confirmées par les travaux de quelques expérimentateurs, en particulier par M. Cluzet, par M. L. Lapicque et Mme Lapicque. M. Cluzet, en utilisant non plus une source donnant un courant d'intensité constante, mais l'onde de décharge de condensateurs de capacité définie et chargés à un voltage connu, mesure la valeur du rapport de Weiss en recherchant la durée de la décharge donnant le seuil avec le minimum d'énergie. Cette durée liminaire correspond à la valeur de ce rapport, appelé par cet auteur *carac-*

téristique d'excitabilité neuro-musculaire. M. L. Lapicque, et Mme Lapicque montrent qu'en opérant dans diverses conditions, les droites représentant la quantité d'électricité nécessaire pour obtenir la réponse musculaire, se coupent toutes en un même point, pour lequel les quantités portées en ordonnées sur la courbe représentative, passent par la valeur 0. A cette valeur correspond un temps égal à $\frac{a}{b}$; en effet, si, dans la formule de Weiss, nous faisons $Q = 0$, on a, au signe près, $a = bt$ et $t = \frac{a}{b}$. En remplaçant t par sa valeur, dans la formule de Weiss, qui peut s'écrire, en divisant tout par le facteur t :

$$i = \frac{a}{t} + b$$

il vient :

$$i = \frac{ab}{a} + b = 2b$$

Le temps de passage de cette intensité i égale à $2b$ nécessaire à obtenir une réponse musculaire, fournira donc une mesure de ce rapport $\frac{a}{b}$. M. Lapicque lui a donné le nom de *chronaxie*. Cette intensité i sera obtenue en doublant l'intensité i' nécessaire pour obtenir le seuil de contraction lorsque le temps de passage est pratiquement infini (cas de fermeture du courant à la main par une clef de morse par exemple). En effet, pour une intensité i' égale à $\frac{i}{2}$, c'est-à-dire égale à b , nous voyons que l'équation

$$i' = \frac{a}{t} + b$$

n'est vraie que si t est infiniment grand, ce qui rend le facteur $\frac{a}{t}$ négligeable, donc $i' = b$.

A ce courant d'intensité i' donnant le seuil pour un temps de passage infini, M. Lapicque donna le nom de *rhéobase*. Le temps nécessaire pour qu'un courant d'intensité double donne une réponse musculaire constitue la *chronaxie*, ou mesure de la valeur du rapport de Weiss $\frac{a}{b}$.

A la suite de ces travaux, se constitua une méthode générale de mesure de la chronaxie : dans une première opération, on détermine l'intensité rhéobasique, c'est-à-dire l'intensité minima provoquant une contraction musculaire pour un passage réalisé à l'aide d'un interrupteur à main.

Doublant ensuite cette intensité, on détermine, dans une deuxième opération, le temps d'admission nécessaire et suffisant pour obtenir une réponse du muscle. Ce temps donne la valeur de la chronaxie. Pour mesurer ce temps très court, certains expérimentateurs, en particulier, M. Bourguignon, préconisèrent l'emploi de condensateurs donnant une onde de durée connue. M. Strohl préfère utiliser des ondes rectangulaires obtenues à l'aide d'un appareil construit par lui, l'*Egèrsimètre*, réalisant mécaniquement les ruptures des deux branches de la dérivation du schéma de Weiss. Ce sont là les deux procédés pratiques utilisés en clinique pour effectuer la mesure de la chronaxie. Nous nous proposons, dans le chapitre suivant, d'exposer ces deux méthodes et d'en

faire l'examen critique. Nous ne retiendrons pas les solutions apportées par quelques auteurs, par M. Laugier en particulier, qui tenta d'utiliser l'onde secondaire d'une bobine d'induction ; ces procédés n'entrèrent pas dans le domaine de la pratique.

EXPOSÉ DES MÉTHODES ACTUELLEMENT EN USAGE

I.— Mesure de la chronaxie par les décharges de condensateurs.

Les expériences de M. G. Weiss, puis celles de M. Cluzet et de M. Lopicque furent réalisées sur l'animal, en particulier sur la grenouille dont le sciatique peut être facilement isolé, et placé sur des électrodes impolarisables. Pour réaliser l'excitation par la décharge de condensateurs, M. Lopicque utilisait un condensateur de un microfarad divisible par dixième. Etant donné la faible résistance de la portion du nerf comprise dans le circuit, la résistance totale de ce dernier était, à peu de chose près, égale à une résistance additionnelle de 25.000 ohms. Dans ces conditions, la constante de temps des décharges est facile à calculer, les deux termes du coefficient RC étant connus, grâce à un artifice de montage rendant la résistance du circuit comportant le corps humain pratiquement constante, M. Lopicque parvint à appliquer le courant de décharge des condensateurs à la mesure de la chronaxie neuromusculaire de l'homme. Adoptant les conclusions de cet auteur, M. Bourguignon a réalisé un très grand

nombre de mesures par la méthode des condensateurs ; dans un ouvrage considérable qui sert actuellement de base aux mesures cliniques, il a envisagé les principales difficultés rencontrées au cours de la détermination pratique de la chronaxie humaine.

Dans l'œuvre de M. Bourguignon, à côté de ce travail fondamental : la classification méthodique des muscles et des nerfs suivant leur chronaxie, se trouvent de nombreuses expériences qui lui servirent à préciser les conditions optima d'expérimentation.

En particulier, il insiste sur le choix des électrodes, électrodes impolarisables faites d'une plaque d'argent chlorurée recouverte de toile d'amiante imbibée d'une solution de chlorure de sodium. L'électrode active doit posséder une surface de 5 centimètres carrés environ, cependant, il est bon d'avoir à sa disposition deux autres électrodes, l'une plus grande, l'autre plus petite, destinées à certains muscles. Il précisa la situation du point moteur en reproduisant sur l'animal vivant l'expérience que Remak et Ziemsen pratiquèrent sur l'homme, puis sur un cadavre, et acquit la certitude que le point moteur est bien constitué « par la projection sur la surface de la peau, du point de pénétration du nerf dans le muscle ». Ce point de projection est relativement petit, d'autre part, un faible écart dans la situation de l'électrode sur la peau modifie considérablement l'intensité du courant au niveau du point de pénétration du nerf dans le muscle. M. Bourguignon insiste, avec justesse, sur la nécessité de ne

pas déplacer l'électrode au cours de la mesure de la rhéobase et de la chronaxie, d'où l'intérêt de posséder un appareil de mesure qui ne demande qu'un minimum de manœuvres, pour exécuter ces deux mesures, à défaut d'un aide au courant de la manipulation. De plus, suivant une méthode courante en physiologie, il est bon de vérifier la valeur des mesures en encadrant la mesure de la chronaxie par deux mesures rhéobasiques.

Le dispositif utilisé par M. Bourguignon dans ses mesures, est le suivant : La source d'électricité est constituée par une batterie d'accumulateurs de cent éléments, fournissant 200 volts. La mesure de la rhéobase est pratiquée à l'aide d'un réducteur de potentiel à travers lequel débite la batterie, et l'intensité du courant rhéobasique n'est pas lue directement, mais est mesurée par l'intermédiaire du voltage indiqué par un voltmètre placé entre les bornes de l'utilisation du réducteur de potentiel. Ayant obtenu le seuil galvanique à l'aide d'une clef réalisant des fermetures sur des courants de plus en plus intenses, M. Bourguignon double le voltage correspondant au seuil de l'excitation, et, par la manœuvre d'un commutateur, met l'utilisation du réducteur de potentiel en rapport avec des condensateurs de diverses capacités. Il détermine alors le condensateur dont la décharge donne le seuil de contraction. En effet, le facteur temps peut-être mesuré par ce procédé, si l'on connaît la résistance R du circuit. On sait qu'au cours de sa déchar-

ge, un condensateur fournit un courant dont le voltage et l'intensité diminuent de moitié après un temps égal à $0,69 RC$. Au bout de ce temps, l'intensité du courant du condensateur ainsi déterminée tombe au-dessous de l'intensité rhéobasique ; par conséquent la seule partie de la décharge efficace sera au plus égale à la portion initiale, correspondant à ce laps de temps t .

La quantité d'électricité écoulee pendant ce temps t sera égale à la moitié de la quantité totale primitive, puisque celle-ci est égale au produit du voltage par la capacité, et que ce voltage, au bout du temps t , est passé de la valeur du voltage chronaxique à la valeur du voltage rhéobasique. Si l'on appelle Rb le voltage rhéobasique et $2 Rb$ le voltage chronaxique, la quantité écoulee, au bout du temps t sera CbR , que nous pouvons introduire dans la formule de Weiss, puisque nous avons identité dans la valeur des signes utilisés ce qui donne :

$$CbR = a + bt$$

d'où :
$$RC = \frac{a}{b} + t$$

$$\frac{a}{b} = RC - t = RC (1 - 0,69)$$

puisque $t = 0,69 RC$, et en effectuant, on obtient :

$$\frac{a}{b} = 0,31 RC$$

La valeur du rapport $\frac{a}{b}$, mesuré de la chronaxie du muscle considéré, sera donc donnée par le produit de la capacité du condensateur déterminé, de la

résistance du circuit et d'une constante égale à 0,31. Ce coefficient de 0,31 est le nombre adopté par M. Cluzet.

M. Lapicque, comparant expérimentalement des ondes rectangulaires analogues aux ondes utilisées par M. Weiss, aux ondes de décharge des condensateurs, l'a trouvé égal à 0,37.

Pour simplifier la technique de la mesure, M. Bourguignon détermine une fois pour toutes la résistance, totale du circuit, soit 11.000 ohms du fait de résistances additionnelles placées en série et en dérivation avec le corps humain. Une chronaxie, mesurée par un microfarad, ou chronaxie unité, a comme valeur, d'après la formule $t = 0,37 R C, 0 S, 004$. Il suffit donc de multiplier la capacité déterminée au cours de la mesure par ce coefficient 0,004 pour avoir la chronaxie du muscle considéré.

Telle est la méthode employée par M. Bourguignon, méthode qui lui permet de déterminer les chronaxies normales et pathologiques des muscles et des nerfs du corps humain.

II. — Mesure de la chronaxie par des ondes rectangulaires

La technique préconisée par M. Strohl est toute différente. Pour obtenir des ondes de courte durée, il utilise un appareil qu'il fit construire spécialement à cet effet, et qu'il a appelé *Egersimètre* : « Une masse pesante tombant d'une hauteur de 18 centi-

mètres environ, rencontre deux leviers qui basculent sous le choc, et rompent ainsi deux contacts électriques correspondants. La masse est guidée dans sa chute par une colonne centrale...elle repose, à l'extrémité supérieure de la colonne, sur deux saillies métalliques, qui peuvent s'effacer par l'action d'une pédale... en provoquant de la sorte la chute du poids. Au bas de sa course, celui-ci s'engage dans un cylindre creux qui sert d'amortisseur à air pour étouffer le bruit et l'ébranlement au cours du fonctionnement. L'axe du levier inférieur est fixe, celui du levier supérieur est solidaire d'une vis micrométrique qui permet d'en faire varier la hauteur d'une quantité connue ». Le réglage de l'appareil se fait au moyen des vis qui supportent les pièces de contact correspondant à chacun des deux leviers. Ajoutons que la manœuvre de l'égersimètre, qui consiste à appuyer sur la pédale pour faire choir le poids, puis à remonter ce poids afin de l'accrocher à son support, peut être facilement pratiquée à l'aide d'une seule main, l'autre maintenant l'électrode exploratrice au contact du point moteur. La rupture du premier contact, correspondant au levier le plus haut situé, correspond à la rupture du fil non résistant du schéma de Weiss. Le courant qui traversait primitivement cette branche passe alors par la branche comportant le sujet, jusqu'à ce que la masse rencontre dans sa chute le levier inférieur, et, rompant définitivement le circuit, mette fin à l'excitation. La durée totale de celle-ci correspond

au temps que met le poids à franchir la distance séparant les deux leviers. A l'aide de cet appareil, il est possible de réaliser des passages variant du $1/100.000^{\circ}$ de seconde à $6/100^{\circ}$ de seconde. Avec chaque appareil est livré une courbe permettant de déduire, par simple lecture, le temps correspondant à la distance séparant les leviers (1). Pour graduer l'intensité du courant utilisé, on peut employer soit un réducteur de potentiel, en plaçant une résistance additionnelle en série avec le sujet, soit opérer à voltage constant et faire varier l'intensité à l'aide d'un rhéostat en série (résistance à plots); dans ce dernier cas, il suffit de doubler le voltage pour obtenir, en vertu de la loi d'Ohm, une intensité double.

Pour réaliser une mesure, on commence par déterminer l'intensité rhéobasique en excluant l'égersimètre du circuit, et en faisant varier soit le voltage, soit la résistance en série avec le sujet. Après cette première détermination, on introduit les contacts de l'égersimètre par la manœuvre d'un commutateur, et on double le voltage correspondant à l'intensité rhéobasique pour obtenir l'intensité correspondant à la mesure de la chronaxie. On réalise alors des passages de durée croissante en écartant progressivement le levier mobile du levier fixe, jusqu'à ce qu'une de ces admissions de courant provoque une réponse musculaire; à ce moment, il ne

1. Dans les égersimètres actuels, la lecture de la graduation de la vis micrométrique donne directement le temps que met le poids à parcourir la distance séparant les leviers.

reste plus qu'à lire sur l'échelle de la vis micrométrique la distance séparant les leviers, et de se reporter à la courbe d'étalonnage de l'appareil pour obtenir le temps de chute correspondant, temps égal à la chronaxie du muscle ou du nerf considéré.

ETUDE CRITIQUE DES DISPOSITIFS PRÉCONISÉS

Une des difficultés rencontrées dans la mesure de la chronaxie résidait dans l'obtention d'ondes électriques extrêmement courtes, mais de durée rigoureusement connue. Qu'on utilise soit la décharge de condensateurs, soit un courant continu admis et coupé par l'égersimètre, il est possible actuellement de réaliser de telles ondes d'une façon pratique, applicable à la clinique. Cependant, la question ne se présente pas sous l'aspect élémentaire que nous lui avons laissée jusqu'à présent ; en réalité, la résistance du corps humain n'est pas définie, et sous l'influence du passage du courant électrique, les variations qu'elle subit sont assez considérables pour perturber le régime du courant exciteur. Ces perturbations sont telles que la mesure de la quantité d'électricité utilisée au cours d'une excitation neuro-musculaire deviendrait illusoire si l'on ne prenait certaines précautions. L'étude des variations de cette résistance fut faite par de nombreux auteurs et l'on sait qu'elles sont dues aux forces contre-électromotrices qui prennent naissance dans les tissus sous l'influence du passage du courant. Ces phéno-

mènes « sont bien connus depuis leur découverte par Peltier, et l'étude qu'en ont faite Hermann, Weiss, Chanoz, etc. » (1). Cependant, jusqu'à ces dernières années, toutes les mesures pratiquées attribuaient à ces forces contre-électromotrices, une valeur de quelques fractions de volt. En utilisant l'égersimètre, et en mesurant les quantités d'électricité admises à travers le corps humain pendant des temps de durée variable, sous un potentiel connu, M. Strohl put déterminer avec une plus grande approximation les variations de résistance des tissus sous l'influence du passage du courant. D'une façon plus précise, ce dispositif présentait l'avantage de permettre les mesures de résistance dans un temps très court après le début de l'excitation, temps correspondant aux durées d'admission en usage dans la détermination de la chronaxie.

En réalisant plusieurs passages de durées croissantes, M. Strohl détermine, d'après les elongations du galvanomètre, les quantités correspondantes. Ces différentes quantités sont portées en ordonnées et les temps correspondants en abscisses. En prenant en chaque point le coefficient angulaire de la fonction représentative, et en étudiant les variations avec le temps, il en déduit une courbe représentative des intensités. Le voltage de la source étant resté le même au cours des différentes mesures effectuées, les variations d'intensité sont en rapport avec les varia-

1. Strohl, 4, p. 1.

tions de résistance des tissus du sujet. De ces expériences, il résulte que, pendant les fractions de seconde qui suivent l'admission du courant, la résistance apparente du corps humain présente des variations considérables. Voici quelques chiffres empruntés à l'ouvrage de cet auteur : Sous un voltage de 20 volts, fourni par une source continue, une résistance additionnelle de 1.900 ohms étant placée en série avec le sujet, la résistance apparente après 0,001 seconde est de 6.424 ohms, et prend à la 0,0104 seconde la valeur de 53.695 ohms, variation maximum enregistrée. Dans les mêmes conditions, mais sous un potentiel de 40 volts, la résistance apparente passe de 5.461 ohms à la 0,001 seconde à 8.430 ohms à la 0,0026 seconde. Enfin sous 80 volts, la résistance se maintient à peu près constante pendant toute la durée de l'expérience. Ces expériences conduisent à penser que les forces contre-électromotrices qui prennent naissance dans le corps humain sont relativement considérables. M. Strohl calcula la grandeur de ces forces pour les deux premières expériences rapportées plus haut. Pour 20 volts, la force contre-électromotrice passe de 4 v. 7 à 17 v. 6; pour 40 volts, de 4 v. 9 à 15 volts. S'il est possible de mesurer la grandeur de ces forces contre-électromotrices, par le procédé ingénieux de M. Strohl, ce procédé reste cependant une méthode de laboratoire qu'on ne peut songer à introduire dans la pratique. D'autre part, des expériences qui précèdent, on ne peut conclure à aucune loi rigoureuse établissant

un rapport entre la force contre-électromotrice qui prend naissance et les conditions de l'expérimentation. Tout ce que l'on peut dire, et ce sont les conclusions mêmes de cet auteur, c'est que la force contre-électromotrice qui prend naissance est relativement d'autant plus élevée que la résistance du circuit est moindre et que le voltage sous lequel est émis le courant polarisant est plus faible.

Ces phénomènes viennent gêner considérablement la mesure de la chronaxie, quel que soit le procédé utilisé dans sa recherche. Leur action perturbatrice s'exerce de deux façons différentes : en premier lieu, au cours d'une des deux opérations, mesure de la chronaxie ou de la rhéobase, ils rendent variable, dans des proportions difficiles à calculer, la résistance totale du circuit.

D'autre part, pour passer de la première mesure à la seconde, dans la détermination de la chronaxie, quelle que soit la méthode employée, on est amené à doubler le voltage pour obtenir une intensité double. Ce but serait atteint s'il s'agissait uniquement de résistances ohmiques, or, si nous nous reportons aux conclusions de M. Strohl, nous constatons que la force contre-électromotrice qui prend naissance dans les tissus ne croît pas proportionnellement au voltage appliqué. Pour des voltages de moins de 80 volts, ces forces contre-électromotrices ne doublent pas quand on double la force électromotrice appliquée, mais sont moins que doublées, de sorte que le courant obtenu après cette opération est

plus intense que celui qu'il aurait fallu obtenir.

Etudions maintenant les solutions préconisées jusqu'à présent par les expérimentateurs. Nous avons vu que, dans la mesure de la chronaxie ainsi que le fait M. Bourguignon, on calcule le temps de décharge du condensateur à partir de la formule générale : $t = 0,69 RC$. Dans cette formule, R désigne la résistance extérieure du circuit. Celle-ci présenterait de grandes variations si elle ne contenait que le corps humain. M. Bourguignon, adoptant les conclusions d'un travail de M. Lopicque, a pu rendre ce facteur R à peu près constant en ajoutant des résistances ohmiques au circuit. Le montage préconisé par cet auteur est le suivant : une première résistance de 4.000 ohms est placée sur le circuit général. Celui-ci se divise ensuite en deux branches : l'une ne comporte qu'une seule résistance de 10.000 ohms ; l'autre comprend le sujet, monté en série avec une troisième résistance de 11.000 ohms ; dans certains cas, cette dernière est remplacée par une résistance de 6.000 ohms. « Le calcul montre qu'en attribuant au sujet des variations de résistance comprises entre 2.000 et 50.000 ohms... la résistance totale varie de 9.650 ohms à 12.590 ohms, ce qui revient à dire qu'elle est approchée à environ $1/10$ près par défaut ou par excès d'une valeur moyenne de 11.000 ohms ». Cette approximation est du reste amplement suffisante lorsqu'il s'agit de mesures de l'ordre de la chronaxie, puisque les variations physiologiques

admisses sont à peu près du même ordre. Au point de vue de la constante de temps du circuit de décharge du condensateur, la question est à peu près pleinement résolue, mais nous allons voir que le problème reste entier si l'on envisage les variations de

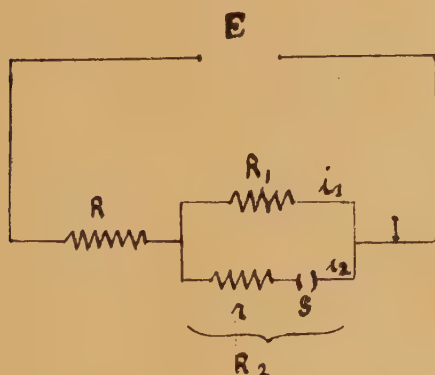


Fig. 1.

l'intensité du courant traversant celle des dériva-
tions qui comporte le sujet.

Dans une des expériences rapportées par M. Bourguignon, à un voltage de 60 volts à la source, l'intensité dans la branche comportant le sujet était de 2,5 milliampères ; la résistance en série était de 11.000 ohms. Ce montage correspond au schéma suivant (fig. 1).

Un calcul assez simple, nous permet de déterminer la résistance apparente du sujet dans ces conditions :

En appelant R la résistance placée sur le circuit principal (40.000 ohms), R_1 la résistance de la branche ne comportant pas le sujet (10.000 ohms), r la résistance placée en série avec le sujet sur l'autre branche, s la résistance apparente du sujet, et en posant $r + s = R_2$, nous pouvons écrire que la résistance totale du circuit est égale à $R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ et E , différence de potentiel appliquée aux bornes, est égale à I , intensité totale multipliée par ce facteur soit $E = I \left(R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$; en appelant i_1 et i_2 l'intensité dans chacune des deux branches, nous avons $R_2 i_2 = R_1 i_1$, et $\frac{i_2}{R_1} = \frac{i_1}{R_2} = \frac{I}{R_1 + R_2}$, d'où $I = \frac{i_2 (R_1 + R_2)}{R_1}$

En remplaçant I par sa valeur dans l'équation donnant le voltage aux bornes, il vient :

$$E = \frac{i_2 (R R_1 + R R_2 + R_1 R_2)}{R_1}$$

et en décomposant R_2 en ses 2 valeurs : r et s , nous avons :

$$\frac{E}{i_2} = \frac{S (R + R_1) + R R_1 + R R' + R_1 R'}{R_1}$$

dont nous pouvons tirer la valeur de S :

$$S = \frac{\frac{E R_1}{i_2} - R' (R_1 + R) - R_1 R}{R_1 + R}$$

Remplaçons les signes par leurs valeurs, nous trouvons que S , résistance apparente du sujet au moment de l'expérience, est de 3.200 ohms. Le vol-

tage appliqué aux bornes du sujet est donc, produit de la résistance apparente par l'intensité, égal à 8 volts. Un tel voltage est relativement faible, et les variations de la force contre-électromotrice qui apparaît dans les tissus du sujet doivent être assez considérables, si nous nous reportons aux expériences de M. Strohl. Cette résistance apparente, dans le cas présent, peut atteindre une valeur de 5.000 et même 10.000 ohms. Un calcul analogue à celui que nous venons d'exposer montre que, pour ces variations, l'intensité prend respectivement les valeurs de 2,15 milliampères, pour 5.000 ω , et 1,81 milliampère, pour 10.000 ω , au lieu de 2,5 milliampères, soit un écart de plus de $1/5$ de l'intensité primitive. Par conséquent, si le montage préconisé par M. Bourguignon a pour effet de stabiliser la résistance totale du circuit, le courant exciteur reste soumis à des variations d'intensité qui se trouvent relativement d'autant plus importantes que le voltage utilisé est plus réduit.

Etudions maintenant les modifications d'intensité pouvant survenir du fait de l'apparition d'une force contre-électromotrice dans un circuit analogue à celui utilisé par M. Strohl, c'est-à-dire comportant une seule résistance en série avec le sujet, et utilisant comme source, une batterie d'accumulateurs. Appelons E , le voltage de la source et e la force contre-électromotrice qui prend naissance dans les tissus du sujet. Pour que la variation d'intensité ne

soit pas supérieure au dixième de l'intensité totale, il faut que :

$$\frac{E}{E-e} = \frac{10}{9}$$

Si la force contre-électromotrice qui prend naissance est de 20 volts, nous voyons que l'équation est vérifiée pour une valeur de E égale à 200 volts.

Supposons maintenant que la résistance initiale, résistance du sujet en l'absence de toute force contre-électromotrice, soit d'environ 500 ohms, chiffre conforme à celui déterminé en mesurant cette résistance par un courant alternatif, et calculons quelle doit être la résistance mise en série avec le sujet pour obtenir une intensité de 10 milliampères sous ce voltage. La loi d'Ohm peut ici s'appliquer, puisque nous nous plaçons dans des conditions entièrement définies ; nous avons :

$$200 \text{ v.} = 0.01 (R + 500)$$

d'où $R = 19.500 \text{ ohms.}$

Pour une intensité de 5 milliampères, un calcul analogue nous donne le chiffre de 39.500 ohms. Dans le premier cas, la différence de potentiel aux électrodes est de :

$$200 \text{ v.} - (19.500 \omega \times 0.01) = 5 \text{ volts}$$

dans le deuxième cas, un calcul analogue nous montre qu'elle n'est plus que de 2 volts,5.

Ces chiffres sont extrêmement faibles, et la force contre-électromotrice qui prend naissance dans ces

conditions doit être relativement considérable, puisque, dans l'expérience de M. Strohl rapportée plus haut, une force contre-électromotrice de 12 volts 9 apparaît dans les tissus du sujet soumis à un voltage de 14 volts 49.

Ceci étant vrai pour le dispositif utilisant des résistances en série avec le sujet, nous allons démontrer par le calcul que les variations de l'intensité du courant traversant le sujet sont encore plus importantes si l'on utilise un montage dans lequel le sujet est placé sur une dérivation du circuit principal. Ces deux montages, montage en série et montage en dérivation, correspondent aux schémas ci-contre (fig. 2 et fig. 3).

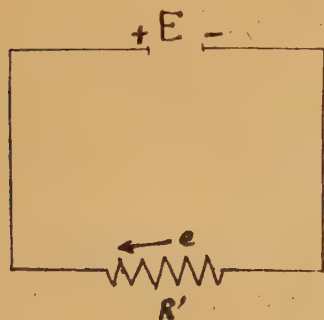


Fig. 2. — Montage en série.

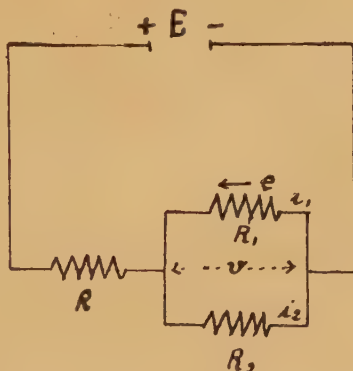


Fig. 3. — Montage en dérivation.

Dans le montage en dérivation, nous pouvons écrire les trois équations suivantes :

$$(1) \quad v = E - I R$$

(le voltage aux bornes de la dérivation est égal au

voltage total diminué du voltage aux bornes de la résistance R).

$$(2) I = i_1 + i_2$$

$$(3) v = R_1 i_1 + e = R_2 i_2$$

de (3), on tire :

$$i_2 = \frac{R_1 i_1 + e}{R_2}$$

et en portant cette valeur dans (4), qui peut s'écrire

$$v = E - (i_1 + i_2) R$$

et même, puisque $v = R_1 i_1 + e$

$$R_1 i_1 + e = E - (i_1 + i_2) R$$

on obtient :

$$R_1 i_1 + e = E - \left(i_1 + \frac{R_1 i_1 + e}{R_2} \right) R$$

En multipliant tout par R_2 et en mettant i_1 en facteur, on a :

$$i_1 (R_1 R_2 + RR_1 + RR_2) = E R_2 - e (R + R_2)$$

d'où on tire la valeur de i_1 pour ce montage :

$$i_1 = \frac{E R_2 - e (R + R_2)}{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}$$

Considérons maintenant le montage en série, l'intensité sera donnée par la formule :

$$i = \frac{E - e}{R'}$$

Supposons qu'au début de l'expérience, pour une valeur de e nulle, l'intensité parcourant le sujet soit la même pour les deux montages. Nous pouvons alors déterminer la valeur de R' , résistance additionnelle du montage en série, par rapport aux ré-

sistances du montage en dérivation, puisqu'à ce moment i_1 est égal à i ; d'après l'équation :

$$\frac{E - e}{R'} = \frac{ER_2 - e(R + R_2)}{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}$$

nous avons la valeur de R' :

$$R' = \frac{(E - e)(R_1 R_2 + RR_1 + RR_2)}{ER_2 - e(R + R_2)}$$

et comme nous avons supposé à ce moment qu'aucune force contre-électromotrice n'apparaissait encore dans le sujet, on a, en faisant $e = 0$:

$$R' = \frac{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}{R_2}$$

En remplaçant R' par sa valeur, dans la formule donnant l'intensité i , on obtient :

$$i = \frac{(E - e) R^2}{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}$$

Pour pouvoir tracer les courbes représentatives de l'intensité en fonction de la force contre-électromotrice e , nous allons remplacer les signes par leurs valeurs numériques, d'après le schéma de montage de M. Bourguignon. On sait que, d'après ce montage, R est de 4.000 ohms, R_1 de 11.000 ohms, et R_2 de 10.000 ohms. Remarquons cependant que la résistance du corps humain mesurée au courant alternatif, résistance ohmique, alors qu'aucune force contre-électromotrice n'entre en jeu, est d'environ 500 ohms. Nous augmenterons donc de cette quantité la valeur de R_1 , qui devient 11.500 ohms.

L'équation donnant i_1 , $\frac{ER_2 - e(R + R_2)}{R_1 R_2 + RR_1 + RR_2}$ devient :

$$i_1 = \frac{10 E - 14 e}{201.000} \text{ (Montage en dérivation).}$$

L'équation donnant i , $\frac{(E - e) R_2}{R_1 R_2 + R_1 R + R R_2}$ devient :

$$i = \frac{E - e}{20.100} \text{ (Montage en série).}$$

Supposons que le voltage utilisé, E , soit de 200 volts, voltage maximum, nous voyons qu'au début de l'expérience, alors qu'aucune force contre-électromotrice n'entre en jeu, l'intensité est bien égale dans les deux cas :

$$i = i_1 = \frac{200}{20100} = \frac{200 \times 10}{201000} = 0 \text{ ampères, } 0.0095$$

Pour une force contre-électromotrice de 5 volts, l'intensité devient 9 milli. 60 pour le montage en dérivation et 9 milli. 70 pour le montage en série ; pour une valeur de 10 volts, nous avons respectivement 9 milli. 25 et 9 milli. 45 ; pour 15 volts, 8 milli. 90 et 9 milli. 20 ; pour 20 volts, 8 milli. 55 et 8 milli. 95.

Supposons que le voltage utilisé ne soit que 100 volts, les mêmes formules nous donnent, lorsqu'aucune force contre-électromotrice n'entre en jeu, une intensité de 4 milli. 97 traversant le sujet, pour les deux montages. Quand la force contre-électromotrice prend la valeur de 5 volts, l'intensité devient 4 milli. 62 pour le montage en dérivation et 4 milli. 72 pour le montage en série.

Nous avons calculé les intensités correspondantes sous des voltages encore inférieurs, soit 50 et

25 volts. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant :

Voltage appliqué	Montage	Force contre-électromotrice en V. et intensités correspondantes en M. A.				
		0	5	10	15	20
200 ^v	dérivation ...	9,95	9,60	9,25	8,90	8,55
	série.....	9,95	9,70	9,45	9,20	8,95
100 ^v	dérivation....	4,97	4,62	4,27	3,93	3,58
	série.....	4,97	4,72	4,47	4,22	3,98
50 ^v	dérivation ...	2,98	2,14	1,76	1,05	1,05
	série.....	2,98	2,19	1,90	1,74	1,42
25 ^v	dérivation ...	1,24	0,86	0,52	0,01	
	série.....	1,24	0,95	0,71	0,04	

Nous n'avons pas cru nécessaire de figurer les courbes correspondantes : le seul examen de ce tableau met en évidence les avantages du montage en série sur le montage en dérivation au point de vue de la constance du courant exciteur.

Nous avons vu plus haut que, pour obtenir des variations d'intensité inférieures au dixième de sa valeur avec le montage en série, on était conduit à utiliser un voltage de 200 volts d'une part, et d'autre part, que si la résistance additionnelle devait être de 19.500 ohms pour 10 milliampères, cette valeur devenait insuffisante avec des intensités plus faibles. Or, si nous calculons la résistance en série équivalente au montage en dérivation, d'après sa valeur trouvée au cours du calcul précédent, soit

$$R' = \frac{R_1 R_2 + R R_1 + R R_2}{R_2} \text{ diminué de la résistance}$$

initiale du sujet, soit 500 ohms, nous trouvons 19.600 ohms. Par conséquent, si le montage en série admet, pour des intensités inférieures à 10 milli. des variations de plus du dixième de cette intensité, ces variations seront encore bien plus accusées dans le montage en dérivation tel que celui qu'utilise M. Bourguignon. Il suffit, au reste, de considérer les courbes tracées plus haut, pour se rendre compte de ces faits.

Nous voyons donc que les variations d'intensité survenant lors de l'apparition d'une force contre-électromotrice dans le circuit sont loin d'être négligeables, et qu'elles perturbent la mesure de la chronaxie, puisqu'elles diminuent, dans des proportions difficiles à déterminer d'une façon précise, mais qui excèdent le dixième de sa valeur, l'intensité du courant utilisé dans la détermination du rapport de Weiss.

La diminution de l'intensité sera accusée surtout lors de la détermination de l'intensité rhéobasique. Celle-ci se pratique sous un voltage faible, et la force contre-électromotrice est relativement plus grande que lors de la détermination de la chronaxie, effectuée sous un voltage double. A ce moment, l'intensité sera plus que deux fois doublée, ce qui conduira à un chiffre chronaxique trop faible, et cet écart sera plus accusé avec un montage en dérivation qu'avec un montage en série, à voltage égal.

Le schéma suivant, inspiré d'une figure publiée

par M. Strohl, permet de se rendre compte de ces faits (fig. 4).

La droite C D correspond schématiquement à la courbe des quantités $q = a + bt$: la quantité a , doit être augmentée d'une certaine quantité b ,

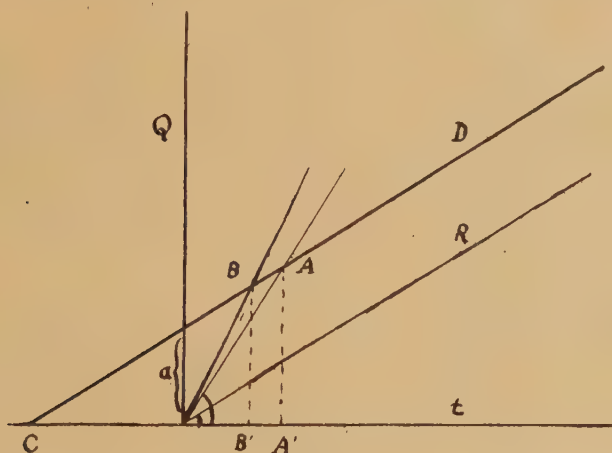


Fig. 4.

proportionnelle au temps t . L'intensité du courant rhéobasique correspond au coefficient angulaire de la droite O R, parallèle à C D : ces deux droites se rencontrent au bout d'un temps de durée infinie (fermeture à la main). Le coefficient angulaire de O A correspond à une intensité double de l'intensité rhéobasique ($\widehat{AOt} = 2 \widehat{ROt}$) et la mesure de la chronaxie correspondante sera O A'. Nous voyons que si l'intensité utilisée dans la mesure de la chronaxie est plus grande (droite OB) la chronaxie trouvée sera trop faible ($OB' < OA'$).

EXPOSÉ DES MÉTHODES

PERMETTANT UNE MESURE EXACTE DE LA CHRONAXIE.

Nous avons vu que l'égersimètre de M Strohl permettrait d'effectuer correctement les mesures du temps de passage correspondant à la valeur du rapport $\frac{a}{b}$, si le courant utilisé était rigoureusement constant.

Deux méthodes permettent de réaliser un tel courant ; la première a été utilisée par MM. Strohl et Dognon, la deuxième, que nous avons récemment imaginée, en collaboration avec M. Fabre, fait l'objet principal de ce travail.

I^o Méthode de la self.

Pour obtenir une intensité stable pendant le temps très court nécessaire à la détermination de la chronaxie, M. Strohl eut l'idée d'utiliser les propriétés des courants parcourant un circuit possédant un fort coefficient de self-induction. On sait que la self, s'opposant aux variations d'intensité, retarde l'effet des modifications des autres constantes du circuit (résistance, forces électro motrices). La

rapidité avec laquelle se produit la variation d'intensité dépend alors d'un facteur appelé « constante de temps » du circuit et qui, exprimé en secondes, est égal au quotient du coefficient de self-induction exprimé en henrys par la résistance exprimée en ohms. Pour obtenir un courant dont l'intensité ne présente que des variations relativement négligeables, pendant les quelques centièmes de seconde correspondant à la mesure chronaxique, il suffit de placer en série avec le sujet une bobine de self possédant un coefficient élevé, de sorte que le rapport de la self à la résistance du sujet soit suffisamment grand.

L'enroulement secondaire d'un transformateur radiologique, choisi par MM. Strohl et Dognon, remplit pleinement ces conditions.

Pour réaliser des mesures de chronaxie, il suffit de remplacer, dans le schéma habituel de montage, les résistances en série par l'hélice de self, dont la résistance propre est d'environ 7000 ohms. L'intensité du courant se règle à l'aide d'un réducteur de potentiel interposé entre la source utilisée (accumulateurs) et les deux extrémités du circuit.

Rapidement, le courant prend un régime stable à travers la self et les deux contacts de l'égersimètre. La rhéobase est mesurée en rompant le shunt court-circuitant le sujet, à l'aide d'une clef additionnelle ; on double l'intensité lue pour obtenir l'intensité chronaxique, et on réalise les passages nécessaires à l'aide de l'égersimètre, suivant la méthode précédemment décrite.

La rupture du premier contact, ayant pour effet d'introduire le sujet dans le circuit, tendra à faire baisser l'intensité en raison directe de la résistance surajoutée et de la grandeur de la force contre-électromotrice qui prend naissance dans les tissus. Nous avons vu que, dans un circuit ne comportant que des résistances ohmiques, cette diminution de l'intensité se fait presque instantanément. Dans le cas présent, elle se fera en un temps plus long, dépendant de la constante de temps du circuit. Dans le montage utilisé par MM. Strohl et Dognon, en admettant que l'introduction du sujet augmente la résistance de 2.000 ohms, et qu'il prenne naissance une force contre-électromotrice de 10 volts, si la résistance primitive du circuit était de 10.000 ohms, un courant de 1 mA gardé sa valeur à moins d'un cinquantième près pendant un centième de seconde.

Les quelques mesures de chronaxie effectuées par ces auteurs, à l'aide de ce montage, mettent ces faits en évidence. Nous nous bornerons à relever les chiffres suivants :

Muscle	Voltage rheo- basique	Résistance additionnelle en ohms	Méthode ordinaire Chronaxie en secondes	Méthode de la self Chronaxie en secondes
Biceps	29	20.000	0,00010	0,00016
»	25	20.000	0,00030	0,00052
Extenseur . . .	40	10.000	0,00030	0,00040
Quadriceps . .	48	7.000	0,00005	0,00008

Ces écarts assez considérables ne sont pas surprenants si l'on remarque le voltage peu élevé sous

lequel les mesures par la méthode ordinaire ont été effectuées. Par contre, la valeur du voltage a une influence nulle sur la mesure effectuée par la méthode de la self ainsi que le prouve l'expérience résumée dans le tableau suivant :

Muscle	Voltage en volts	Méthode ordinaire Chronaxie en secondes	Méthode de self Chronaxie en secondes
Biceps	16	0,00018	0,00031
—	32	0,00023	0,00031
—	57	0,00031	0,00031

Malgré la constance de ces résultats, la méthode ne pouvait passer dans la pratique courante.

MM. Strohl et Dognon en signalent eux-mêmes les inconvénients : la bobine utilisée doit être assez volumineuse car la constante de temps du circuit doit être très grande si l'on veut que la méthode reste applicable dans les cas de grande chronaxie. D'autre part, si l'on se borne à rompre le deuxième contact, interrompant le circuit général à l'aide de l'égersimètre connecté suivant le schéma courant, la résistance du circuit, au moment de la rupture, croît rapidement jusqu'à une valeur pratiquement infinie. Or on sait que la rupture d'un circuit comportant une forte self détermine l'apparition d'un extra-courant dont le voltage peut-être très élevé, en rapport avec la self, l'intensité et la forme de la rupture. Cet extra-courant détermine l'apparition

d'une étincelle qui détériore rapidement les contacts de platine de l'égersimètre. Mais de plus, le courant excitateur se trouve prolongé d'une durée inconnue pendant laquelle l'intensité diminue progressivement au lieu d'être ramenée brusquement à zéro. Il s'en suit une cause d'erreur portant sur le temps de passage réel du courant excitateur. Pour supprimer les effets de cet extra-courant, MM. Strohl et Dognon ont modifié le montage du circuit en y adjoignant un shunt spécial comportant un éclateur. Pendant la mesure, le voltage aux bornes de l'éclateur est insuffisant à produire l'étincelle capable de fermer ce circuit de décharge.

Au moment de la rupture du deuxième contact de l'égersimètre, une étincelle jaillit à l'éclateur, sous l'influence du survoltage produit par la naissance de l'extra-courant, et ferme le circuit de décharge dont la résistance devient nulle dès que l'étincelle s'est amorcée. Ce dispositif ingénieux présente toutefois l'inconvénient suivant : pour assurer une protection efficace, il faut que l'éclateur ne possède pas une trop grande distance entre la pointe et le plateau. D'autre part, si cette distance était trop faible, tout le courant destiné à l'excitation pourrait emprunter cette voie dérivée. Ceci nécessite un réglage minutieux qui suffit à rendre la méthode générale peu pratique (1). Nous tenions cependant

1. On peut, il est vrai, remplacer avantageusement ce micro-éclateur par un tube à gaz raréfié laissant passer le courant avec une grande régularité quand la tension atteint environ 300 volts.

à rappeler ici la méthode de MM. Strohl et Dognon, qui fut la première donnant, sur l'homme, une mesure de la chronaxie voisine de sa valeur réelle.

II. Principe du fonctionnement de la lampe valve ; étude du courant électronique.

L'utilisation d'une bobine de self, malgré les résultats obtenus, n'entra donc pas dans la pratique courante. Pour suppléer à la self, c'est-à-dire pour rendre le courant rigoureusement constant, nous avons utilisé, M. Fabre et moi, une lampe valve, ou kénotron, dont l'emploi est très fréquent en électricité, surtout depuis les perfectionnements de la télégraphie sans fil.

La lampe comporte une ampoule de verre à l'intérieur de laquelle on a fait le vide. Deux électrodes pénètrent dans l'ampoule, l'une est constituée par un filament métallique en tungstène, l'autre, la plaque, est un cylindre métallique entourant le filament sans être en contact avec ce dernier. Il est possible de chauffer le filament dont les extrémités sont en relation avec deux bornes extérieures, en y faisant passer un courant d'intensité convenable. Dans ces conditions, sous l'influence de l'effet Edison, le filament pièce métallique chauffée dans le vide, émet des électrons dont la charge est négative. Supposons le filament relié au pôle négatif d'une source S et la plaque reliée au pôle positif : les électrons vont se diriger du filament chargé négative-

ment, vers la plaque, chargée positivement ; chaque électron transportera avec lui une charge d'électricité connue, et constante. La source S va donc débiter à travers la lampe un courant dont l'intensité dépendra du nombre d'électrons quittant le filament pour aller vers la plaque. C'est le courant électronique.

Le nombre des électrons issus du filament dépend de la température de celui-ci, c'est-à-dire, pratiquement, de l'intensité du courant de chauffage. Examinons ce qui se passe lorsque, la température du filament restant constante, on augmente progressivement la différence de potentiel exercée sur les électrodes de la lampe. Quand cette différence est nulle, il n'existe pas de courant électronique.

Pour une faible différence de potentiel, une fraction des électrons émis par le filament, atteint la plaque. Ce nombre croît rapidement, avec le voltage, et l'intensité du courant électronique croît parallèlement. Pour un certain voltage, la totalité des électrons émis se rend à la plaque, et l'intensité atteint un maximum. A partir de ce point, si nous continuons à augmenter la différence de potentiel plaque-filament, l'intensité du courant n'augmente plus, puisque la totalité des électrons est déjà utilisée, que chaque électron transporte toujours la même charge d'électricité, et que le nombre d'électrons émis par le filament ne dépend que de la température de celui-ci, supposée constante dans la suite.

La courbe de l'intensité du courant obtenu dans ces conditions est la suivante (fig. 5).

Nous voyons que, si nous disposons aux bornes de la lampe, d'un voltage V , le courant électronique gardera une valeur constante tant que le circuit traversé par ce courant ne présentera pas une chute ohmique ou ne sera pas le siège d'une force contre-

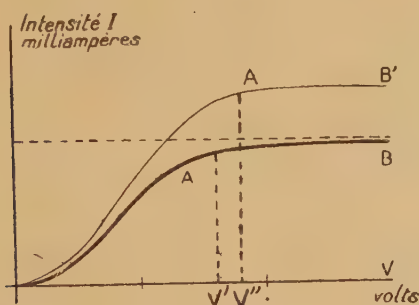


Fig. 5

électromotrice supérieure à $V - V'$. Il apparaît alors possible d'utiliser avec profit un tel courant dans la mesure de la chronaxie, à la condition que la force contre-électromotrice qui prendra naissance dans les tissus reste toujours inférieure à cette valeur : $V - V'$.

D'autre part, pour obtenir l'intensité désirée, il suffit de modifier le chauffage du filament de la lampe. On passe alors de la courbe représentée en traits pleins, à la courbe représentée en pointillé sur le graphique.

Dans le but de déterminer d'une façon précise le

voltage à utiliser pour obtenir ces courants électro-niques dits de saturation, nous avons été amenés à établir la courbe caractéristique de quelques lampes valves pour différentes intensités et sous différents voltages. Ces expériences nous ont montré que la portion de la courbe correspondant à la saturation n'était pas en réalité un plateau, mais présentait une pente légère, l'intensité augmentant, bien que faiblement, quand le voltage aux bornes de la lampe continue à croître au delà du point donnant la saturation.

Le courant de saturation n'étant pas rigoureusement constant, nous avons cherché à établir ses conditions de variation. Nous avons admis, comme variation maximum compatible avec une mesure correcte de la chronaxie, une variation d'intensité correspondant au dixième de l'intensité primitive. Nous reviendrons sur ce point quelques lignes plus loin.

Si nous considérons un circuit composé d'une lampe valve, placée en série avec le corps humain, et dont les extrémités sont en connexion avec les bornes d'une source à voltage constant (batterie d'accumulateurs par exemple), nous voyons que les forces contre-électromotrices qui prennent naissance dans les tissus ont pour effet de diminuer le voltage sous lequel fonctionne la lampe. Tout se passe comme si on retranchait, du voltage de la source, le nombre de volts mesurant la force contre-électromotrice. L'effet modificateur dû à cette force contre-électromotrice peut être évalué comparativement en

remplaçant le corps humain par un nombre suffisant d'accumulateurs en opposition avec la source, ou, plus simplement, par une résistance : le voltage aux bornes de celle-ci mesure la valeur de la chute ohmique obtenue.

Pour vérifier l'équivalence d'action d'une chute ohmique et d'une force contre-électromotrice, nous avons déterminé expérimentalement des variations d'intensité à l'aide du dispositif suivant : une source de 120 volts débite à travers une lampe dont le filament est chauffé par une batterie indépendante de 6 volts, de sorte que l'intensité du courant électronique atteigne 10 milli-ampères au début de l'expérience. La manœuvre d'un commutateur permet d'introduire dans le circuit principal, siège du courant électronique, soit des accumulateurs en opposition, soit des résistances.

Ce courant présente des variations indiquées dans le tableau suivant :

Comparaison de l'effet d'une force c. e. m.
et d'une chute ohmique.

Voltage aux bornes : 120 v. Lampe Verrix.

Intensité en mil-						
liampères ...	10	9,5	9	8	6,5	5
Force CEM en						
volts.....	0	30	60	80	96	100
Résistance en						
ohms.....	0	3.500	7.000	10.000	15.000	20.000
Voltage aux						
bornes de la						
résistance en						
volts.....	0	33,25	63	80	97,5	100

Si nous considérons les chiffres de la deuxième et de la quatrième ligne, nous voyons que, à même voltage, l'effet de la chute ohmique est sensiblement le même que l'effet de la force contre-électromotrice. Pour étudier les variations d'intensité correspondant à l'introduction d'une force contre-électromotrice dans le circuit, il suffit donc d'introduire dans celui-ci une résistance variable, ce qui peut être réalisé à l'aide du montage simple suivant (fig. 6).

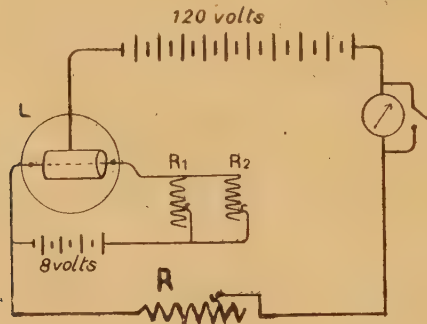


Fig 6.

Pour obtenir l'expression de la chute ohmique, en volts, il suffit de multiplier la valeur de la résistance R par l'intensité correspondante. En retranchant les valeurs obtenues ainsi, du voltage de la source, nous obtenons le voltage sous lequel fonctionne la lampe. Ce procédé permet donc d'établir la courbe de fonctionnement de la lampe, courbe des intensités, obtenues à partir de l'intensité correspondant au voltage total. Nous avons choisi cette méthode parce qu'elle traduit, en somme, ce qui se

passé au cours de l'excitation des tissus par le courant électronique, puisque l'intensité du courant est déterminée alors qu'aucune force contre-électromotrice ne modifie les caractéristiques du circuit.

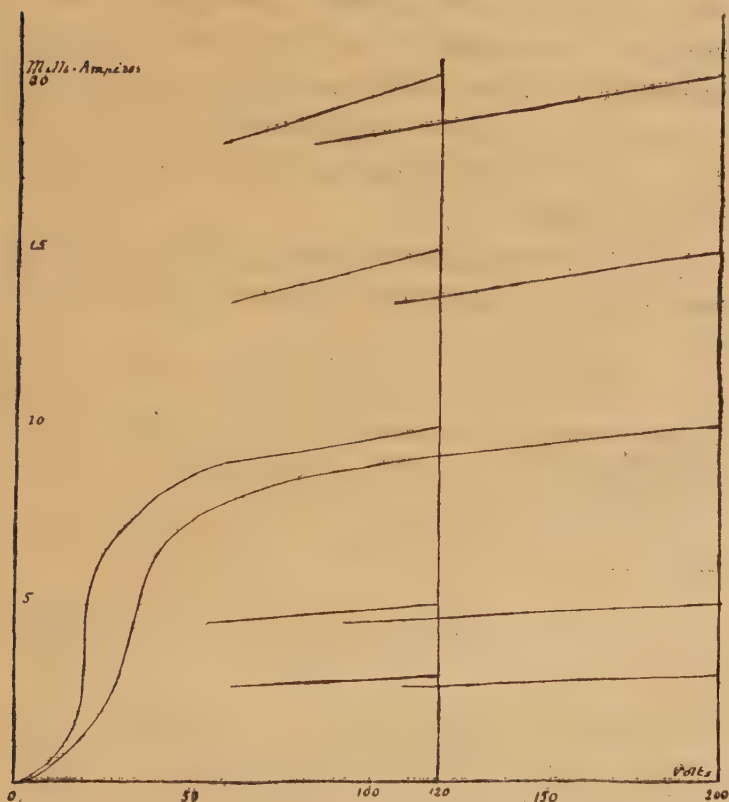


fig 8. Variations de l'Intensité en fonction du Voltage
(lampe Verre)

Cependant, pour rendre expressifs les graphiques obtenus par ce procédé, nous avons tracé les courbes de droite à gauche : elles correspondent alors aux courbes caractéristiques de la lampe. Nous nous bornons à reproduire ici la courbe obtenue

sous le voltage de 120 volts, avec 10 milli d'intensité lorsque la chute ohmique est nulle, et la courbe obtenue dans les mêmes conditions, mais sous un voltage de 200 volts. Pour ne pas encombrer le graphique, nous n'y avons porté, pour d'autres intensités, que les segments de courbe présentant un intérêt au point de vue des mesures que nous nous proposons, c'est-à-dire les segments correspondant à une variation inférieure ou égale à 1/10 de l'intensité primitive.

Les différents points ont été déterminés expérimentalement, à partir des expériences suivantes :

Lampe Verrix. Voltage aux bornes = 200^v

Intensité en m. A. .	10	9,5	9	8	7	5
Résistance en ohms.	0	7.500	11.500	17 000	22.000	35.000
Chute ohmique en volts.....	0	72,25	97	136	154	165

**Lampe Verrix. Comparaison de 2 voltages aux bornes
= 120 et 200^v**

Voltage appliqué	Intensité primitive	Intensité diminuée de 1/10 de sa valeur	Résistance additionnelle en ohms	Valeur de la chute ohmique	Voltage restant
—	—	—	—	—	—
120 ^v	3	2,7	22.500	60 ^v	60 ^v
200 ^v	3	2,7	34.000	91 ^v	109 ^v
120 ^v	5	4,5	15.000	67 ^v	53 ^v
200 ^v	5	4,5	24.000	108 ^v	92 ^v
120 ^v	15	13,5	4.500	61 ^v	59 ^v
200 ^v	15	13,5	7.000	94 ^v	106 ^v
120 ^v	20	18	3.500	63 ^v	57 ^v
200 ^v	20	18	65.000	117 ^v	83 ^v

Si nous considérons les courbes obtenues ainsi, nous voyons que, au cours d'une excitation neuromusculaire, pour déterminer une variation d'intensité supérieure à $1/10$ de l'intensité désirée, il faudrait que la force contre-électromotrice prenant naissance dans les tissus, du fait du passage du courant, fût supérieure à la valeur de la chute ohmique ayant déterminé une pareille variation. Le chiffre le plus faible relevé est 60 volts.

D'après les travaux de M. Strohl, nous avons vu que pour des courants de l'ordre de quelques milliampères, tels que ceux utilisés dans la mesure de la chronaxie, la force contre-électromotrice n'atteint pas une telle valeur.

Cependant, pour préciser l'erreur commise dans la mesure de la chronaxie à l'aide de courants électroniques, et pour déterminer le voltage optimum sous lequel la mesure doit être effectuée, nous avons envisagé le cas d'une application numérique. Nous avons supposé, que la force contre-électromotrice, lors de la mesure de la rhéobase, était de 20 volts. Sous une intensité double, cette force ne doublant pas exactement, nous lui avons attribué une valeur de 35 volts, au moment de la détermination de la chronaxie.

Si nous désignons par t la chronaxie vraie, et par t' la chronaxie mesurée par notre méthode, le rapport $\frac{t'}{t}$ nous permet d'évaluer l'erreur commise. Soit i l'intensité rhéobasique, i_0 l'intensité double, et Δi_r et Δi_c les variations d'intensité rhéobasiques

lorsque la force contre-électromotrice entre en jeu, nous pouvons déterminer la valeur de $\frac{t'}{t}$ en partant de la formule de Weiss.

En effet nous avons vu que :

$$Q = a + bt$$

devient, en divisant les deux membres par le temps t :

$$i = \frac{a}{t} + b$$

d'où nous tirons la valeur de t :

$$t = \frac{a}{i - b}$$

i désigne ici l'intensité chronaxique; dans la méthode adoptée, cette intensité est double de l'intensité rhéobasique, égale elle-même à b . Cette équation peut donc s'écrire :

$$t = \frac{a}{i_c - i_r} = \frac{a}{i_r}$$

De même, la valeur de t' sera :

$$t' = \frac{a}{(i_c + \Delta i_c) - (i_r + \Delta i_r)} = \frac{a}{i_r + \Delta i_c - \Delta i_r}$$

L'erreur absolue portant sur une mesure sera :

$$\frac{t'}{t} = \frac{i_r}{i_r + \Delta i_c - \Delta i_r}$$

Supposons l'intensité rhéobasique égale à 5 milliampères. En nous reportant aux courbes précédentes, nous trouvons comme valeur de Δi_r , pour une force contre-électromotrice de 20 volts, une variation négative de 0 mA, 15 sous 120 volts.

Sous ce même voltage, la variation subie par un

courant d'intensité double (intensité chronaxique correspondante), est de — 0,55.

La valeur de $\frac{t'}{t}$ est donc, d'après la formule :

$$\frac{5}{5 - 0,65 + 0,15} = 1,11$$

Si le muscle examiné au cours de cette mesure possède une chronaxie réelle de 0,00016, nous aurons trouvé une chronaxie apparente de 0,0001776.

En supposant l'intensité rhéobasique égale à 10 millis, sous un voltage de 120 volts, l'erreur commise, calculée de la même façon, est de 1,08. Au lieu de 0,00016, la chronaxie apparente devient 0,0001628.

A même intensité rhéobasique ces écarts sont encore plus faibles lorsqu'on opère sous un voltage plus élevé, soit 200 volts. Pour une intensité rhéobasique de 5 millis, et en nous reportant aux courbes correspondant à ce nouveau voltage, nous trouvons, comme valeur de $\frac{t'}{t}$ 1,05. Pour une chronaxie réelle de 0,00016, la chronaxie apparente sera 0,000168.

Enfin, sous ce même voltage, pour une intensité rhéobasique de 10 milli-ampères, le rapport $\frac{t'}{t}$ est égal à 1,04. A cette même chronaxie réelle de 0,00016 correspond une chronaxie apparente de 0,0001664.

Pratiquement, si un voltage de 120 volts suffit lar-

gement à assurer l'exactitude relative de la mesure, nous voyons qu'il est possible d'obtenir un résultat encore plus voisin de la réalité en opérant sous un plus haut voltage.

Toutefois, et c'est là un des avantages de ce procédé, il nous semble préférable de ne pas utiliser un trop haut voltage : Si l'on considère en général 200 volts comme une limite imposée par la prudence, dans les recherches de l'excitabilité des tissus sur l'homme, il vaut mieux, quand cela ne nuit en rien à l'exactitude des résultats, rester au dessous de ce chiffre. Pour ce motif, nous avons adopté, dans la plupart de nos expériences, un voltage initial de 120 volts, puisqu'il suffit à obtenir une bonne approximation.

DESCRIPTION D'UN DISPOSITIF DE MONTAGE,
PERMETTANT L'UTILISATION DU COURANT ELECTRONIQUE
DANS LA DETERMINATION DE LA CHRONAXIE.

Grâce à l'égersimèire de M. Strohl, l'application du courant continu filtré par une lampe valve, éclusé, pourrions-nous dire, devient extrêmement simple. Il suffit de supprimer les résistances en série et de disposer une lampe valve à la place de la plus forte. En outre, il est bon d'enlever le volmètre qui constitue, malgré sa forte résistance, une dérivation inutile. Le milliampèremètre, dont la self peut modifier, bien que légèrement, le régime du circuit, sera placé en dérivation sur la clef de Courtade, et un interrupteur disposé sur cette dérivation permettra de lire, puis de doubler l'intensité du courant utilisé, entre la mesure rhéobasique et la mesure de la chronaxie. La lampe est chauffée par deux ou trois accumulateurs, suivant le type adopté. Deux rhéostats, montés en dérivation l'un par rapport à l'autre, et intercalés sur le circuit de chauffage, permettent d'obtenir exactement l'intensité désirée (fig. 7.)

La mesure de la rhéobase se fait de la façon habituelle : le commutateur est placé en R ; la manœuvre des rhéostats permet d'obtenir un courant suffisant

pour trouver le point moteur du muscle, point correspondant à la plus forte réponse. On assure alors la place de l'électrode en appuyant le coude de la main tenant celle-ci sur le plan de la table ou du lit d'examen. Avec la main libre, on revient

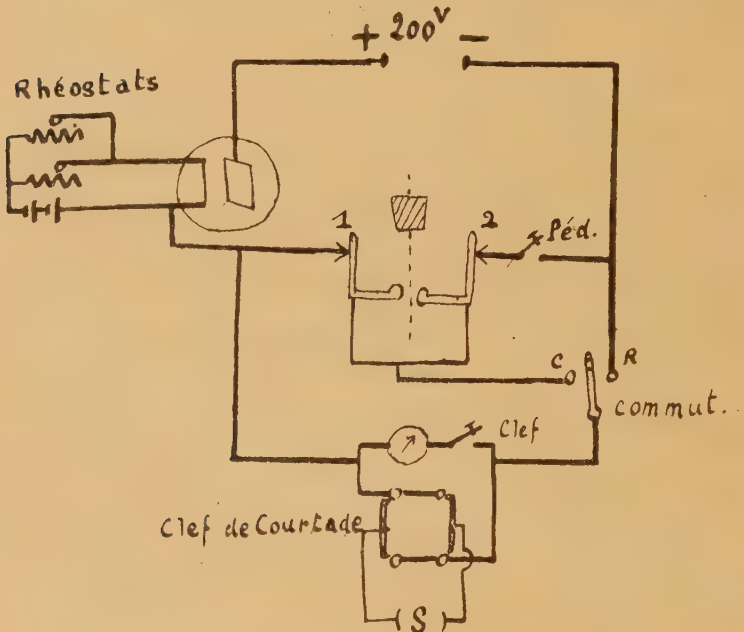


Fig. 7

à un courant moins intense, nettement au-dessous du seuil, puis on augmente progressivement le chauffage du filament en déplaçant par petites fractions, le curseur d'un des rhéostats. Ayant obtenu une première secousse, correspondant au seuil, on abaisse la clef commandant le milli-ampèremètre, on lit l'intensité correspondante (rhéobasique), puis on double cette intensité par la

manœuvre des rhéostats. Le milli est à nouveau exclus du circuit ; le commutateur est placé en C, une des clefs de l'inverseur étant maintenue abaissée, il suffit alors de manœuvrer l'égersimètre pour obtenir la chronaxie. Pour vérifier la mesure, et, en particulier, pour être certain que l'électrode n'a pas quitté le point moteur, on pratiquera une nouvelle détermination de l'intensité rhéobasique.

VERIFICATION DE L'EFFET PHYSIOLOGIQUE DES COURANTS RENDUS CONSTANTS PAR UNE LAMPE VALVE.

Avant de pratiquer à l'aide des courants de lampe, la mesure de l'excitabilité neuro-musculaire humaine, nous avons étudié leur action sur le sciatique de la grenouille. *A priori*, il ne semble pas que l'effet de ces courants soit différent de celui obtenu à l'aide d'un courant continu réglé par un rhéostat ou par un réducteur de potentiel, mais nous avons cru bon de vérifier expérimentalement cette proposition. D'autre part, on admet que, les lampes valves ne possédant aucune inertie, le courant prend dès la fermeture du circuit, l'intensité maxima prévue.

Nos expériences ont été réalisées sur la grenouille rousse. L'excitation du gastro-cnémien, dont le tendon est facilement accessible, se fait par l'intermédiaire du grand sciatique isolé et placé sur deux électrodes impolarisables. Il est admis qu'aucune force contre-électromotrice ne prend naissance dans le circuit au cours de l'excitation du nerf par ce procédé. Nous avons utilisé les électrodes impolarisables de M. G. Weiss; elles sont constituées par deux tubes capillaires, coudés en U, présentant sur une des branches un renflement, et, au sommet de l'autre

branche, un réservoir. La branche comportant le remplissage est remplie d'eau physiologique, et le nerf est posé dans une dépression ménagée à l'extrémité du tube capillaire.

Le réservoir est rempli d'une solution de chlorure de zinc à saturation, jusqu'à ce que, en vertu du principe des vases communicants, l'eau physiologique atteigne le nerf. Dans le réservoir, plonge l'électrode correspondante, électrode en zinc. Le courant excitateur doit être descendant, suivant le nerf, de sa partie proximale vers la partie distale.

Dans une première série d'expériences, nous avons comparé l'effet du courant fourni par un réducteur de potentiel au courant réglé par une lampe valve. Une clef à double contact nous permettait d'exciter le nerf avec l'un ou l'autre courant. La manœuvre d'un commutateur dérive le circuit dans un appareil de mesure peu résistant. Nous avons pu, ainsi, déterminer l'intensité seuil et la chronaxie avec l'un et l'autre montage. Au cours de ces déterminations, nous avons constaté que l'action du courant de lampe était différente suivant que l'admission était consécutive à la fermeture d'une simple clef ou à la rupture d'un shunt. Pour éliminer, dans ce dernier cas, la possibilité d'une polarisation du nerf lors du passage du courant à travers le shunt, cependant de résistance nulle, nous avons ajouté 200.000 ohms sur la dérivation comportant le sujet. Cette résistance additionnelle n'a pas modifié les résultats. Le tableau suivant résume l'une de ces expériences.

**Grenouille rousse. Excitation du gastro-cnémien
par le sciatique sectionné. Courant descendant.**

Mode d'excitation	Intensité seuil en micro-ampères		
	Courant continu sur kénotron		
	Courant continu sur résistances	Pas de résistance en série avec le sujet	Résistance de 200.000 ohms en série avec le sujet
Fermeture	5,83	0,09	0,12
Rupture de shunt	5,94	4,48	6,05

Nous voyons que le seuil obtenu par rupture de shunt sur courant de lampe, se rapproche sensiblement des deux seuils, obtenus à l'aide du courant continu réglé par résistances. Par contre, l'intensité seuil, par fermeture sur courant de lampe, est notablement inférieure aux autres chiffres, et cet écart se maintient malgré l'addition de 200.000 ohms. Ce phénomène ne peut donc être imputé à la polarisation du nerf, puisque l'addition d'une résistance considérable ne le modifie pas sensiblement. Bien que nous en réservions l'interprétation exacte, il nous semble actuellement que son explication peut se trouver dans le faible chauffage du filament de la lampe.

En effet, pour des courants plus intenses, tels que ceux utilisés au cours des déterminations de l'excitabilité neuro-musculaire chez l'homme, cet écart disparaît. Cependant, dans nos recherches ultérieures, nous avons cru préférable de déter-

miner l'intensité rhéobasique en rompant un shunt.

Nous avons pu retrouver sur la grenouille, à l'aide des courants de lampe, la courbe représentative de la loi de M. Weiss avec les deux inflexions signalées par M. Lapicque.

Les excitations ont été réalisées à l'aide de l'égersimètre de M. Sthrol, cet appareil nous indiquant le temps de passage correspondant à chaque excitation seuil.

Voici les chiffres fournis par cette expérience, et la courbe obtenue :

**Grenouille rousse. Excitation du gastro-cnémien
par le sciatique sectionné. Courant descendant.**

Temps en σ	Intensité en micro-ampères	Quantités en micro-coulombs
0,10	2,20	0,000.224
0,15	2,20	0,000.336
0,25	3,19	0,000.797
0,51	2,20	0,001.122
0,76	1,72	0,001.307
1,02	1,49	0,001.519
1,27	1,44	0,001.828
1,53	1,32	0,002.019
1,78	1,25	0,002.225
2,04	1,28	0,002.611
2,55	1,25	0,003.187
3,06	1,26	0,003.855

Le prolongement de la droite nous donne la mesure de la chronaxie de l'organe considéré, soit 0,68 chiffre conforme à celui trouvé par les expérimentateurs.

De l'ensemble de ces recherches, il apparaît donc que les courants rendus constants par une lampe valve, sont particulièrement aptes à fournir une mesure exacte de la chronaxie neuro-musculaire humaine.

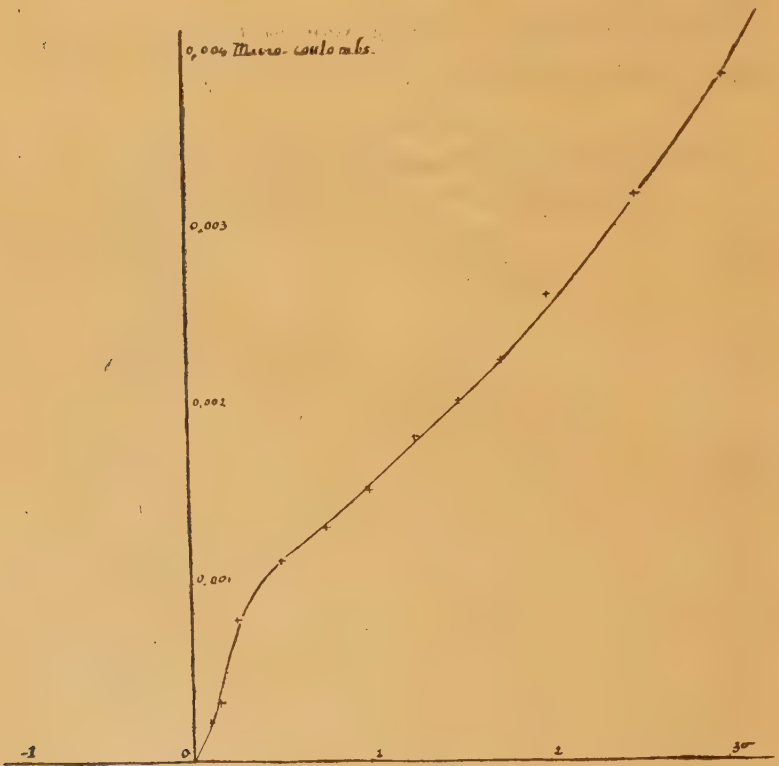


Fig9 -Vérification de l'action des courants électroniques.

Loi de G.Weiss (Gastro-némien de grenouille rousse)

COURANTS CONTINUS

STABILISÉS PAR UNE RÉSISTANCE ADDITIONNELLE

ET COURANTS STABILISÉS PAR UNE VALVE.

COMPARAISONS DES CHRONAXIES OBTENUES.

En utilisant l'égersimètre, nous avons pu, à l'aide d'un montage simple, comparer les chiffres obtenus soit avec un courant rendu constant par une forte résistance additionnelle, soit par une lampe valve. Il nous suffit, en effet, de placer un commutateur à l'origine du circuit pour utiliser l'une ou l'autre source. La manœuvre de ce commutateur peut se faire rapidement ; les deux mesures sont facilement réalisables, en un temps court, et sans déplacer l'électrode excitatrice. Dans la plupart de nos mesures, nous avons encadré la mesure de la chronaxie à l'aide d'une technique, de deux déterminations faites en utilisant l'autre technique.

On sait que l'on considère comme voltage limite compatible avec la prudence indispensable lors d'expérimentations sur l'homme, le voltage de 200 volts environ.

La lampe utilisée fonctionne sous 120 volts, pour certaines mesures et sous 200 volts, pour quelques autres.

D'autre part, nous avons utilisé, dans les déterminations faites à l'aide d'un courant continu, l'une ou l'autre des deux méthodes habituellement en usage :

Tantôt, nous avons placé en série avec le sujet, une résistance fixe de 10.000 ohms ; l'intensité est alors réglée à l'aide d'un réducteur de potentiel disposé sur une source de 200 volts.

Ce procédé est critiquable : la résistance en série avec le sujet est relativement faible et n'assure pas une bien grande stabilité de l'intensité, d'autant plus que le voltage sous lequel est fait la mesure est, dans le plus grand nombre des cas, très inférieur au voltage limite.

La deuxième montage, préconisé par M. Strohl, est nettement préférable. On opère de la façon suivante : l'intensité rhéobasique est déterminée à l'aide de résistances variables en série avec le sujet, sous un voltage égal à la moitié du voltage disponible, soit 100 volts. La manœuvre d'une clef permet d'obtenir le voltage double, soit 200 volts. Nous ne reprendrons pas ici la critique de ce procédé, qui a été faite dans un précédent chapitre. Nous dirons seulement que cette deuxième méthode doit donner, *a priori*, de meilleurs résultats que la précédente, puisque les mesures sont faites sous le maximum de voltage, et avec une résistance qui est plus grande ou égale à 10.000 ohms. Ces faits ont d'ailleurs été vérifiés depuis longtemps dans la pratique.

1° Chronaxies physiologiques

Les mesures comparatives ont été pratiquées sur des sujets présumés sains. Nous les avons groupées par muscle, et nous avons indiqué, pour chaque muscle, la chronaxie considérée comme normale, empruntant ces chiffres aux moyennes établies par M. Bourguignon (*V. tableau p. 76*).

Si nous considérons ces quelques chiffres, nous voyons qu'il est possible de retrouver les principaux groupes chronaxiques de M. Bourguignon. C'est avec cette intention que nous avons fait porter plusieurs déterminations sur les mêmes muscles, choisis chez des sujets différents. Les chronaxies déterminées à l'aide d'un circuit ohmique sont sensiblement égales aux chiffres donnés comme normaux par cet auteur.

Au premier groupe de M. Bourguignon (fléchisseurs du bras et de l'avant bras) dont les chronaxies varient de $0\sigma,08$ à $0\sigma,16$ correspondent des valeurs variant de $0\sigma,10$ à $0\sigma,30$. Au deuxième groupe, (fléchisseurs et pronateurs de la main et des doigts) $0\sigma,20$ à $0\sigma,36$ correspondent $0\sigma,35$ à 1σ , et au troisième groupe, (extenseurs) dont les chronaxies varient de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$, correspondent des valeurs variant de $0\sigma,80$ à 2σ .

Cette majoration de la valeur moyenne des chronaxies normales, confirme les considérations théoriques énoncées précédemment. En aucun cas, la chronaxie mesurée par la méthode des lampes n'a

Nom du muscle et numéro de la mesure	Montage comportant un réducteur de potentiel et une résistance en série de 10.000 ohms.				Montage sur lampe avec source de 120 volts		
	Rhéobase		Chronaxie		Rhéobase-Chronaxie		
	Intensité en m-A	Voltage en volts	Voltage en volts	Chronaxie en σ	Intensité en m-A.	Intensité en m-A.	Chronaxie en σ
Biceps..... I.	1,1	28	56	0,09	1,20	2,4	0,22
..... II.	0,6	22	44	0,15	0,90	1,80	0,29
..... III.	1,1	37	74	0,13	1,30	2,60	0,15
..... IV.	0,8	24	48	0,13	0,95	1,90	0,21
Deltoïde..... I.	0,9	22	44	0,14	1	2	0,25
..... II.	0,7	30	60	0,12	1,25	2,50	0,21
Lg. supin..... I.	2,7	47	94	0,13	2,1	4,2	0,20
..... II.	4,1	65	130	0,08	3,7	7,4	0,14
..... III.	1,5	65	130	0,08	3,4	6,8	0,10
Grand palmaire..... I.	2,5	45	90	0,12	2,4	4,8	0,37
..... II.	3,8	58	116	0,28	3,7	7,4	1,04
..... III.	3,5	55	110	0,22	3,8	7,6	0,90
Fl. c. sup..... I.	2	60	120	0,21	2,05	4,1	0,44
..... II.	1,7	53	106	0,23	1,60	3,2	0,36
..... III.	4,5	46	92	0,22	2,2	4,4	0,55
Fl. c. profd..... I.	2,2	22	44	0,34	1,5	3	0,65
..... II.	4,4	46	92	0,23	2	4	0,52
..... III.	0,85	26	52	0,46	0,75	1,5	0,72
Ct fléc. pouce.....	3	47	94	0,47	3,2	6,4	1
Ct abd. pouce.....	2,3	46	92	0,28	2,3	4,6	0,76
Opposant.....	2,8	65	130	0,11	2,6	5,2	0,52
Ct abd. V.....	2,3	45	90	0,27	2,3	4,6	0,70
Extenseur commun... I	3,5	60	120	0,78	3,3	6,6	1,3
..... II.	3,7	60	120	0,52	3,5	7	0,78
..... III.	3,2	55	110	0,83	3	6	1
..... IV.	3	78	156	0,62	3,60	5,2	0,67
..... V.	3,8	94	188	0,83	3,20	6,4	1,19
..... VI.	3	48	96	0,90	3,3	6,6	1,02
..... VII.	3	52	104	0,20	6,6	1,32	0,22
..... VIII.	3,7	56	112	0,26	3	6	0,88
..... IX.	3,4	62	124	0,23	3,6	7,2	1,01
Ext. pr. index..... I.	3,2	52	104	0,57	2,2	4,4	2
..... II.	3,2	55	110	0,73	3	6	0,85
..... III.	1,36	62	112	0,13	0,9	1,8	0,28
..... IV.	4,6	69	138	0,21	3,7	7,4	0,96
..... V.	4,5	66	132	0,23	4,5	9	0,67
Lg. abd. pouce..... I.	2,7	50	100	0,83	2,2	4,4	1,35
..... II.	3	65	130	0,82	3,6	7,2	0,78

été trouvée inférieure à la chronaxie déterminée par l'autre méthode. Rarement elle a pu lui être égale. Un écart inverse se retrouve le plus souvent dans la valeur de l'intensité correspondante, celle-ci étant plus faible dans la détermination réalisée à l'aide des courants de lampe.

Ces résultats reposent sur un nombre de mesure encore trop faible, surtout si on les compare aux statistiques de M. Bourguignon, pour pouvoir constituer une base définitive. Ils nous ont paru cependant suffisamment concordants pour pouvoir justifier la méthode.

2^o Chronaxies pathologiques

Il restait encore à vérifier notre technique sur des muscles pathologiques, à chronaxie élevée. Nous tenons à remercier ici M. le Dr Delherm, qui a bien voulu nous laisser disposer de l'égersimètre utilisé dans son service de La Pitié, à la détermination de la chronaxie, selon la méthode de M. Strohl.

Cette installation est alimentée par une batterie d'accumulateurs de 220 volts. Un commutateur permet de réduire ce voltage de moitié, soit 110 volts. L'intensité rhéobasique est réglée sous ce voltage, à l'aide d'un rhéostat. La manœuvre du commutateur donne l'intensité double, nécessaire à la détermination de la rhéobase.

Nous avons ajouté une clef nous permettant de remplacer le rhéostat par une lampe valve, chauffée

par deux accumulateurs indépendants, et fonctionnant sous le voltage maximum disponible, soit 220 volts.

Voici les quelques déterminations que nous avons pu faire dans ces conditions :

Malade	Muscle	Chronaxie		
		Montage sur résistances	Montage sur lampes	Chronaxie normale (M. Bourguignon)
I. Névrite post-traumatique . . .	Quadriceps droit	0,65	0,65	0,10 à 0,16
	— gauche	0,10	0,75	»
	Jumeau externe d ^r	2	5,2	0,44 à 0,72
	— interne d ^r	1,50	2,5	»
	— externe g ^{che}	5,40	2	»
II. Névrite post-angineuse .	— interne g ^{che}	9,20	3	»
	Jambier ant ^r droit	2, 5	1	0,10 à 0,16
	Soléaire gauche	0,25	0,40	0,24 à 0,36
III. Mono-plégie ancienne (doigts / décontracturés, mais immobiles) . . .	Biceps droit	0,20	0,30	0,10 à 0,16
	Fléch. comm. sup ^e	0,26	1,04	0,20 à 0,36
	Ct. fl. pouce	0,31	1,38	»

Nous voyons que, pour ces grandes chronaxies, l'écart entre les chiffres fournis par l'une ou l'autre méthode peut s'inverser.

Ces résultats sont en contradiction apparente avec ce qui précède. A regarder les choses de plus près, il est possible cependant de trouver une explication rationnelle de ces faits, dans les modalités que présente la force contre-électromotrice qui naît dans les tissus pendant l'excitation.

Si l'on considère les courbes représentatives de la

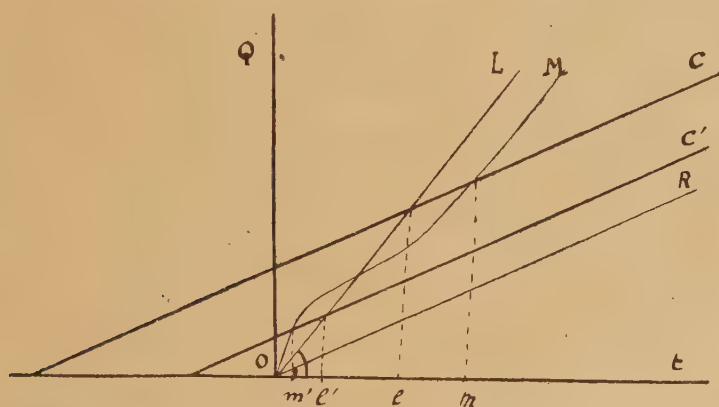


Fig. 10

grandeur de cette force contre-électromotrice publiées par M. Strohl, on voit qu'au cours du passage du courant, la force contre-électromotrice croît d'abord rapidement, atteint un maximum, et décroît ensuite légèrement, tendant à devenir constante.

Il est facile d'en déduire les variations que subira, sous l'influence de cette force contre-électromotrice, l'intensité d'un courant obéissant à la loi d'Ohm : La courbe représentative de celle-ci présentera des inflexions inverses. Enfin la courbe des quantités possédera aussi une inflexion correspondant au

minimum d'intensité. Cette courbe aura la forme du tracé OM de la figure précédente (fig. 10).

Si nous représentons par la droite OL la courbe des quantités d'électricité obtenues à l'aide d'un courant de lampe, et par C et C' les droites des quantités représentant les caractéristiques d'excitabilité de deux muscles ayant même rhéobase, R, mais de chronaxie différente ($C < C'$), nous voyons que, suivant les cas, la chronaxie déterminée par les lampes peut être plus grande ou plus petite que la chronaxie mesurée par l'autre méthode.

Pour que cette inversion se produise, il faut que la courbe des quantités du courant sur résistances coupe la droite représentant les quantités avec le courant de lampe, avant d'atteindre la droite caractéristique du muscle considéré. Ces conditions ne seront guère réalisées que sur des muscles à grande chronaxie. D'autre part, les variations de grandeur de la force contre-électromotrice peuvent à elles seules, modifier le phénomène, puisque c'est de celles-ci que dépend l'importance et la situation de l'inflexion de la courbe exprimant les quantités d'électricité écoulées en fonction du temps, par la méthode courante.

CONCLUSIONS

I. — La mesure de la chronaxie neuro-musculaire, est le complément indispensable de l'examen électrique : elle permet de préciser certains points, de fixer numériquement les résultats, et de suivre de plus près l'évolution des lésions.

La recherche de l'excitabilité galvanique et faradique dégrossit en quelque sorte l'examen, mais n'en constitue qu'une première étape, de même qu'en analyse chimique, la recherche qualitative précède le dosage des substances.

II. — La mesure de la chronaxie est basée sur la loi d'excitabilité neuro-musculaire de M. Weiss. Cette loi se traduit par une formule simple exprimant la quantité nécessaire à l'excitation en fonction de deux termes a et b , caractéristiques du muscle ou du nerf considéré et de son état.

III. — La mesure du rapport de ces deux termes (chronaxie de M^r Lapique) suffit à caractériser l'organe exploré. Suivant une technique préconisée par cet auteur, on pratique cette mesure en deux temps :

a) on détermine l'intensité rhéobasique, ou intensité seuil.

b) on détermine le temps de passage nécessaire et suffisant pour obtenir une réponse avec une intensité double de la rhéobase. Ce temps est égal à la chronaxie.

IV. — La seconde opération peut-être réalisée soit avec des condensateurs, soit avec l'égersimètre de M. Strohl.

Dans le premier cas, on utilise un montage en dérivation afin d'avoir une résistance totale constante, ce qui permet d'introduire la notion du temps de décharge.

Dans le second cas, le sujet est placé en série avec des résistances ayant pour but de stabiliser l'intensité.

V. — Pour passer de l'intensité rhéobasique à l'intensité correspondant à la mesure de la chronaxie, on double le voltage. Cette opération doublerait en effet l'intensité s'il s'agissait d'un circuit ohmique. Lorsque le corps humain est en circuit, il ne se comporte pas comme une résistance ohmique ; des forces contre-électromotrices prennent naissance sous l'influence du passage du courant, et celles-ci ne sont pas proportionnelles au voltage ; elle ne doublent pas quand le voltage est double, mais augmentent dans une proportion impossible à déterminer exactement, ainsi que l'a montré M. Strohl.

VI. — La perturbation qu'apporte la force contre-électromotrice dans la mesure, est due à un excès d'intensité au moment de la mesure de la chronaxie ; cette mesure (temps de passage suffisant) est donc

trop faible, puisqu'elle est réalisée avec un courant trop intense.

VII. — La variation d'intensité correspondant à l'apparition d'une même force contre-électromotrice dans le sujet, est plus importante dans le montage en dérivation couramment utilisé dans la méthode des condensateurs, que dans un montage en série, sous un même voltage et à même intensité initiale.

VIII. — La méthode de mesure utilisant l'Egersimètre de M. Strohl est perfectible : il suffit de stabiliser le courant pour obtenir une bonne mesure. C'est ainsi que MM. Strohl et Dognon ont employé avec succès un circuit doué d'une forte self. Ce perfectionnement n'a pu entrer dans la pratique courante en raison de certains inconvénients inhérents à la self.

IX. — M. Ph. Fabre et moi, avons eu l'idée d'utiliser un courant stabilisé par une lampe valve ou Kénotron. La constance de ces courants n'est pas absolument rigoureuse, mais reste amplement suffisante ainsi que le montre l'étude du fonctionnement de la lampe.

X. — L'action de ces courants sur les nerfs et les muscles est identique à celle d'un courant obéissant à la loi d'ohm (vérification de la loi de Weiss sur le gastro-cnémien de la grenouille rousse).

XI. — Les chronaxies des muscles normaux de l'homme déterminées à l'aide de ces courants confirment les notions qui précèdent. Elles sont environ égales au double des chronaxies mesurées avec un

courant ohmique. Il est possible de retrouver les groupes chronaxiques de M. Bourguignon, mais avec un décalage correspondant.

XII. — Les grande chronaxies des muscles pathologiques peuvent être égales, supérieures ou inférieures aux mesures faites à l'aide d'un courant obéissant à la loi d'Ohm. Ces écarts semblent dus à une décroissance de la force contre-électromotrice apparaissant au bout d'un temps assez long, et ne pouvant modifier les mesures que dans le cas des grandes chronaxies.

Vu : le Doyen,
ROGER

Vu : le Président de la thèse,
A. STROHL.

Vu et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris,
CHARLÉTY.

BIBLIOGRAPHIE (1)

- Hoorweg*. — Archives de physiologie. 1897.
- Weiss (G.)*. — Sur la possibilité de rendre comparables entre eux les appareils servant à l'excitation électrique (Arch. Ital. de Biologie, t. XXXV, fasc. III, 1901).
- Sur l'excitation électrique des nerfs (Journ. de Physiol. et Pat. gén. n° 2, mars 1903).
- Cluzet*. — Loi d'excitation par décharges de condensateurs. Th. de la Fac. des Sciences de Paris, 1905.
- Hérédia-Lapique (Marcelle de)*. — Recherches sur l'excitabilité de divers muscles de vertébrés et invertébrés. Thèse de la Fac. des Sciences de Paris, 1905.
- Lapique (L.)*. — Revue générale des sciences pures et appliquées, 15 février 1910.
- Laugier (H.)*. — Vitesse d'excitabilité et courants induits. Méthodes nouvelles en Electro-diagnostic. Thèse de la Fac. de méd. de Paris. 1913.
- Cluzet*. — Electro-diagnostic au moyen des décharges de condensateurs (Journ. de Rad. et Electrol., t. I, n° 3, mars 1914).
- Guilleminot (H.)*. — Electricité médicale. Electrologie et Radiologie Paris, 1922.
- Strohl (A.)*. — Recherches sur la mesure de l'excitabilité élec-

1. Nous nous sommes bornés à rapporter les titres, les ouvrages et publications que nous avons consultés en entreprenant ce travail.

- trique neuro-musculaire chez l'homme (Arch. d'Electr. Méd. et de Physiothérapie. Bordeaux, n° 477, juin, 1922).
- Strohl (A.) et Dognon.* — C. R. de la Soc. de Biologie, t. LXXXVI, 1922.
- Bourguignon (G.).* — La chronaxie chez l'homme. Paris, 1923.
- Strohl (A.).* — Rapport sur les méthodes modernes d'électro-diagnostic (Journal de Rad. et d'Electrol., t. VI, 1923).
- Strohl (A.) et Dognon (A.).* — L'utilisation des circuits à grande self pour réaliser l'excitation électrique par courants constants chez l'homme (Journal de Rad. et d'Electrol., t. VI, 1923).
- Strohl (A.).* — Polarisation et excit. électrique (Journal de Rad. et d'Electrol., t. VII, 1923).
- Strohl (A.) et Dognon (A.).* — Etude sur la conductibilité électrique des tissus vivants. Recherches sur la polarisation électrique (Journal de Phys. et de path. générale, t. XXII, janv. 1924).
- Strohl A.).* — La conductibilité électrique du corps humain Paris, 1925.
- Strohl (A.) et Iodka.* — Recherches sur la résistance initiale du corps humain (Journ. de Rad. et d'Electrol., t. IX, mars 1925).
- Fabre (Ph.) et Desgrez (H.).* — De l'utilisation des lampes à deux électrodes pour la recherche de la chronaxie (Journal de Rad. et d'Electrol., t. X, oct. 1926).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS.....	9
HISTORIQUE.....	13
Exposé des méthodes actuellement en usage.....	24
Etude critique des dispositifs préconisés.....	32
Exposé des méthodes permettant une mesure exacte de la chronaxie.....	48
Méthode de la Self.....	48
Principe du fonctionnement de la lampe valve ; étude du courant électronique.....	53
Description d'un dispositif de montage permettant l'utilisa- tion du courant électronique dans la détermination de la chronaxie.....	65
Vérification de l'effet physiologique des courants rendus constants par une lampe valve.....	68
Courants continus stabilisés par une résistance additionnelle et courants stabilisés par une valve. Comparaison des chronaxies obtenues.....	73
Chronaxies physiologiques.....	75
Chronaxies pathologiques.....	77
CONCLUSIONS.....	81
BIBLIOGRAPHIE.....	85

